MUNDO CIENTIFICO

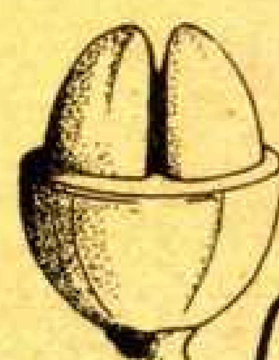
LA RECHERCHE, *versión en castellano*

DE EDITORIAL FONTALBA

La mejora genética del café ● La fisión nuclear
Nuestra galaxia ● La salud pública en España
La «revolución científica» del siglo XII
Las enfermedades de nuestros antepasados

Nº 19
MENSUAL
300 Ptas.

Coffea arabica





ISSN 0211-3058

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, versión en castellano

Nº 19



Nuestra portada:

Se consumen dos grandes clases de café: Arábica y Robusta. El café Arábica procede de los cafetales de la especie *Coffea arabica* cultivada en altura en los países tropicales húmedos, de clima contrastado; originario del Yemen, alcanza su mayor extensión en América del Sur. El café Robusta lo producen los cafetales pertenecientes a la especie *Coffea canephora;* se ha impuesto en África y Asia. Los frutos de los cafetales se recogen en la madurez y deben sufrir una serie de operaciones tecnológicas con el fin de eliminar las envolturas del grano y obtener finalmente el café comercial o café verde. Hoy en día, el principal objetivo de la mejora genética de los cafetales es incrementar la producción de café, así como mejorar su calidad (véase el artículo de André Charrier, p. 1064). (Dibujo de Christian Picoche.)

La «revolución científica» del siglo XII

Por Pierre Thuillier

Pierre Thuillier enseña historia y filosofía de las ciencias en la universidad de París VII; forma parte del equipo de redacción de *La Recherche.*

■ En nuestra sociedad actual, la Edad Media es conocida de forma bastante ambigua. A pesar de que los historiadores especializados periódicamente intentan en sus ensayos «rehabilitarla» y de que los novelistas se esfuerzan por revelar algunas de sus riquezas culturales, parece que prima la idea de que fue una época «oscurantista». Entre los siglos V al XV, el Occidente cristiano habría estado inmerso en un profundo sueño; únicamente con el Renacimiento se empezarían a manifestar verdaderos «progresos» económicos, sociales y culturales.

■ Desde este punto de vista, puede que esto no sea del todo falso. Es difícil, en particular, dar una imagen «brillante» de los primeros siglos de la Edad Media... Pero en muchos terrenos, los medievales fueron innovadores. Se desarrollaron técnicas, se intensificó la vida urbana, aparecieron nuevas formas de vida. Asimismo en la historia del conocimiento, como demuestra Pierre Thuillier, la Edad Media ofrece la originalidad de formular una nueva concepción de la naturaleza abogando por su estudio «racional».

■ En la historia de las ciencias se recurre habitualmente a la noción de «revolución científica» para designar la obra realizada por Galileo y sus sucesores más inmediatos. Es una manera de subrayar la amplitud y la calidad de la mutación que tuvo lugar a principios del siglo XVII en el campo del conocimiento. Previamente la «ciencia moderna» no existía; como máximo había sido anunciada por algunos «precursores» de los siglos XV y XVI. Haciendo simplificaciones y más simplificaciones, el gran público acabó por aceptar de forma más o menos consciente una serie cronológica, que resume la historia del conocimiento en Occidente a partir del siglo V, como sigue: primeramente hubo la Edad Media, periodo de estancamiento y de oscurantismo. Después el Renacimiento, considerado como una etapa intermedia en la que surgieron nuevas concepciones (en gran parte gracias al redescubrimiento de los grandes autores de la antigüedad grecorromana). Por último, la Edad de la verdadera ciencia, desde Galileo hasta nuestros días.

Una separación demasiado simple: Edad Media, Renacimiento, Edad moderna

Esta forma de condensar quince siglos de cultura en tres periodos bien separados seguramente es muy cómoda. Pero conduce al riesgo de dar una idea extremadamente pobre (e incluso caricaturesca) de la realidad histórica. Galileo, repudiando en aras del razonamiento los errores de los aristotélicos, es una imagen que sorprende y que permite señalar un momento importante de la historia de las ciencias. Hay que darse cuenta, sin embargo, de que la «revolución científica» del siglo XVII había sido preparada, largamente preparada; y que, en muchos aspectos, puede ser considerada como la maduración de un movimiento sociocultural sólidamente enraizado en los siglos anteriores.

La misma noción de Edad Media no es fácil de abordar. En la concepción corriente, la Edad Media y el Renacimiento son tan opuestos como la noche y el día. Pero a principios del siglo XX, diversos historiadores reaccionaron contra esta imagen tan simplista, en lo que se ha dado en llamar «la revolución de los medievalistas»... Por una parte, el Renacimiento «permanece impregnado de caracteres medievales, empezando por la fidelidad de los humanistas, mucho más respetuosos de lo que se pensaba de las normas establecidas»;[1] por la otra, se pueden descubrir en la Edad Media los orígenes de muchas ideas y actitudes generalmente atribuidas al Renacimiento. Etienne Gilson, especialista en filosofía medieval, escribía por ejemplo en 1922: «*Es necesario, pues, relegar al terreno de la leyenda la historia de un Renacimiento lleno de ideas que sucede a varios siglos de sueño, de oscuridad y de error. La filosofía moderna no ha tenido que luchar contra la Edad Media para establecer los derechos de la razón sino que, por contra, fue la Edad Media la que los estableció; se ha creído, por otra parte, que el siglo XVII abolió la obra de los siglos precedentes cuando, en realidad, no hizo más que continuarla*».

Los historiadores de las ciencias, especialmente en los primeros decenios del siglo XX, lucharon por rehabilitar a la Edad Media ¡hasta el punto de considerar al Renacimiento como un periodo de declive! Entre los más fervientes defensores de la «ciencia» medieval cuentan autores cuya erudición es reconocida sin reservas: Pierre Duhem, Charles Homer Haskins, Lynn Thorndike y George Sarton. Y una de las grandes conclusiones a las que llegaron fue que no había ruptura de la continuidad entre la Edad Media y el Renacimiento, sino que procedía iniciar la historia de la «ciencia moderna» varios siglos antes de Galileo.

Esta idea no ha sido aceptada por todo el mundo, y la controversia prosigue sin cesar. Huelga decir que los enfrentamientos entre «adversarios» y «partidarios» de la Edad Media aparecen también matizadas por diversas posiciones ideológicas; con todo, a partir de los Duhem y los Thorndike muchos historiadores han trabajado el tema y nuestros conocimientos sobre este periodo han progresado notablemente. Aunque no haya un total y perfecto acuerdo entre los especialistas, las cosas empiezan a verse mucho más claras. Se ha hecho evidente que la Edad Media, incluso desde el punto de vista de la historia del conocimiento, no ha sido un periodo de estancamiento total ni de mediocridad uniforme.

Hubo fases oscuras, sin lugar a dudas, e incluso regresiones; pero también iniciativas positivas, e innovaciones muy prometedoras. Pensemos, por ejemplo, en el «Renacimiento carolingio». A finales del siglo VIII, Carlomagno ordenó «abrir en cada diócesis y en cada monasterio, escuelas en las que

Como revela esta ilustración, la Edad Media no ignoró las preocupaciones «científicas». Aunque sólo fuera para calcular la fecha de Pascua, era necesario recurrir a la astronomía. Aunque la Teología ocupaba un lugar destacado en la cultura de la élite, una tradición pedagógica heredada de la antigüedad contribuyó a mantener cierto interés por las matemáticas y la astronomía. Entre los «antecesores» de la ciencia occidental se puede mencionar a Gerbert d'Aurillac, un francés que llegó a Papa en el año 999 con el nombre de Silvestre II. Gracias a un viaje de estudios a España tuvo algunos contactos con la ciencia árabe y empezó a difundirla en Francia. En una época en la que la enseñanza científica era muy escasa, consiguió ser un célebre profesor; era capaz, por ejemplo, de construir una esfera que representara el firmamento. Los discípulos que formó contribuyeron a asegurar el éxito de la enseñanza que se impartía en las catedrales y en diversos centros urbanos: Colonia, Utrecht, Chartres, Laon, Ruán, etc. Hay que señalar, no obstante, los límites de este movimiento intelectual; frente a los actuales, los conocimientos de este tiempo eran escasos. Pero se estaban forjando las condiciones de un «Renacimiento». (Ilustración del salterio de San Luis, siglo XIII. El personaje central parece tomar una marcación astronómica. Bibliot. del Arsenal, Foto J.L. Charmet.)

(1) Así se expresa V.L. Saulnier en su prefacio a un libro donde se examina en profundidad el problema de la definición de los «periodos» históricos: W.K. Ferguson, *La Renaissance dans la pensée historique* (trad. francesa). Payot, 1950. Véase también J. Nordström, *Moyen Age et Renaissance* (trad. francesa), Stock, 1933.



Muchos pensadores cristianos del siglo XII abogaron ardorosamente por un estudio «racional» de los fenómenos naturales.



En la cultura de la Alta Edad Media, el estudio de la Biblia ocupaba un lugar predominante; era necesario comprender primero los mensajes espirituales de la Sagrada Escritura y transmitirlos a los hombres con el fin de asegurar su salvación. El estudio «científico» de la naturaleza, se consideraba a menudo como una actividad carente de interés (como la expresión de una vana curiosidad). Pero, en la primera mitad del siglo XII, se manifestó un claro cambio de orientación. Especialmente en Chartres, muchos autores intentaron interpretar el texto bíblico de la creación del mundo «según la física», buscando comprender «racionalmente» cómo se encadenaban en la naturaleza las causas y los efectos. Esta mutación no engendró inmediatamente una auténtica «ciencia» de la naturaleza, en el sentido moderno de la expresión, pero por lo menos abrió la vía para ello. Progresivamente, el estudio de los fenómenos naturales adquirió importancia y cierta autonomía. La enseñanza medieval dio cabida en lo sucesivo a este tipo de investigación. Gracias al estudio de las «artes liberales», que iban de la gramática a la astronomía, los estudiantes tenían acceso a cierta cultura filosófica e incluso «científica». Como muestra este detalle del portal principal de Chartres, que data de mediados del siglo XII, los autores antiguos servían de «patrones» a esta actividad intelectual. Debajo de la teoría musical, simbolizada por una Virgen rodeada de instrumentos musicales, se encuentra probablemente Pitágoras; debajo de la gramática, simbolizada por una Virgen que lleva una palma, se encuentra un antiguo gramático (Donato o Prisciano). Aristóteles acompañaba a la dialéctica; Euclides a la geometría; Ptolomeo a la Astronomía, etc. (Foto Hubert Josse.)

habrían de ser admitidos tanto los niños de condición libre como los de condición servil».[2] Además, para impulsar la vida intelectual, hizo llamar a letrados capaces de enseñar la cultura latina. Retrospectivamente, se puede juzgar que el resultado no estuvo a la altura de las ambiciones proclamadas; Alcuin, el más conocido de estos letrados, por ejemplo, soñaba en «forjar en Francia una nueva Atenas» e incluso superior a la antigua... Estos esfuerzos, no obstante, dieron algún fruto. En el curso de los siglos siguientes, se desarrolló una vida cultural que se concretó en particular en las universidades y que acabó por generar una actividad intelectual considerable.

La misma idea de preguntarse sobre el papel de los autores medievales en la prehistoria de «la ciencia moderna» no tiene, pues, nada de absurda. Por lo menos si el problema se aborda con un mínimo de serenidad, evitando los alegatos unilaterales y obcecados «por» o «contra» la Edad Media... no se trata de minimizar los méritos de Galileo demostrando que fue «adelantado» por tal o cual clérigo letrado, *sino de comprender cómo evolucionó la actitud del Occidente cristiano con respecto a la naturaleza.* En esta perspectiva, el siglo XII parece constituir una etapa importante.

«La primera revolución científica de la Europa moderna...»

En esta época, en efecto, se pone de manifiesto una neta evolución tanto en la mentalidad como en las instituciones. Mientras que el estudio «científico» de la naturaleza (en el sentido moderno de la expresión) era prácticamente inexistente, algunos pensadores experimentan una confianza creciente en los poderes del espíritu humano e intentan definir una nueva concepción de aquélla. En su opinión, sería posible y deseable en lo sucesivo explicar «racionalmente» los fenómenos. Es decir, interpretarlos en términos de causas y efectos encadenados de forma regular e inteligible. Evidentemente, el comienzo del siglo XII no vio aparecer una «ciencia» perfecta, apoyada en una metodología completa y explícita. Tampoco hubo una transformación generalizada e inmediata de todas las actividades cognitivas. Pero, como dijo el historiador Edward Peters, «en pocos decenios, el sistema de enseñanza y las actitudes de los europeos occidentales respecto a las ciencias físicas y a las matemáticas cambiaron profundamente». En consecuencia, no es exagerado ver en este movimiento «la primera revolución científica» de la Europa moderna...[3]

Habitualmente, los medievalistas prefieren hablar del «renacimiento del siglo

(2) E. Gilson. *La philosophie au Moyen Age,* segunda edición, Payot, 1944. pág. 189.
(3) Véase la introducción de E. Peters a R.C. Dales, *The scientific achievement of the Middle Ages.* University of Pennsylvania Press, 1973, pág. 1.

XII»; esta expresión, más matizada, es posiblemente preferible. En cualquier caso, parece que se llegó a un amplio consenso: en el siglo XII, muchos teólogos aportaron una nueva visión sobre la naturaleza y manifestaron una destacable curiosidad filosófica. Respetaban la Biblia como expresión de la palabra de Dios. Pero, en lugar de comentarla en un marco exclusivamente teológico, procuraron interpretarla «según la física (secundum physicam). Esto significa que, en toda ocasión era necesario esforzarse en comprender de la forma más racionalmente posible los enunciados de las Sagradas Escrituras. El *Génesis* dice, por ejemplo, que «*Dios hizo el firmamento y separó las aguas que estaban por encima del firmamento de las que estaban debajo*». Ante tal texto, no hay que contentarse con ser un creyente «pasivo»: hay que encontrar explicaciones naturales. Fue en particular en Chartres, sede de una célebre escuela, donde se puso de manifiesto este punto de vista en los primeros decenios del siglo XII.

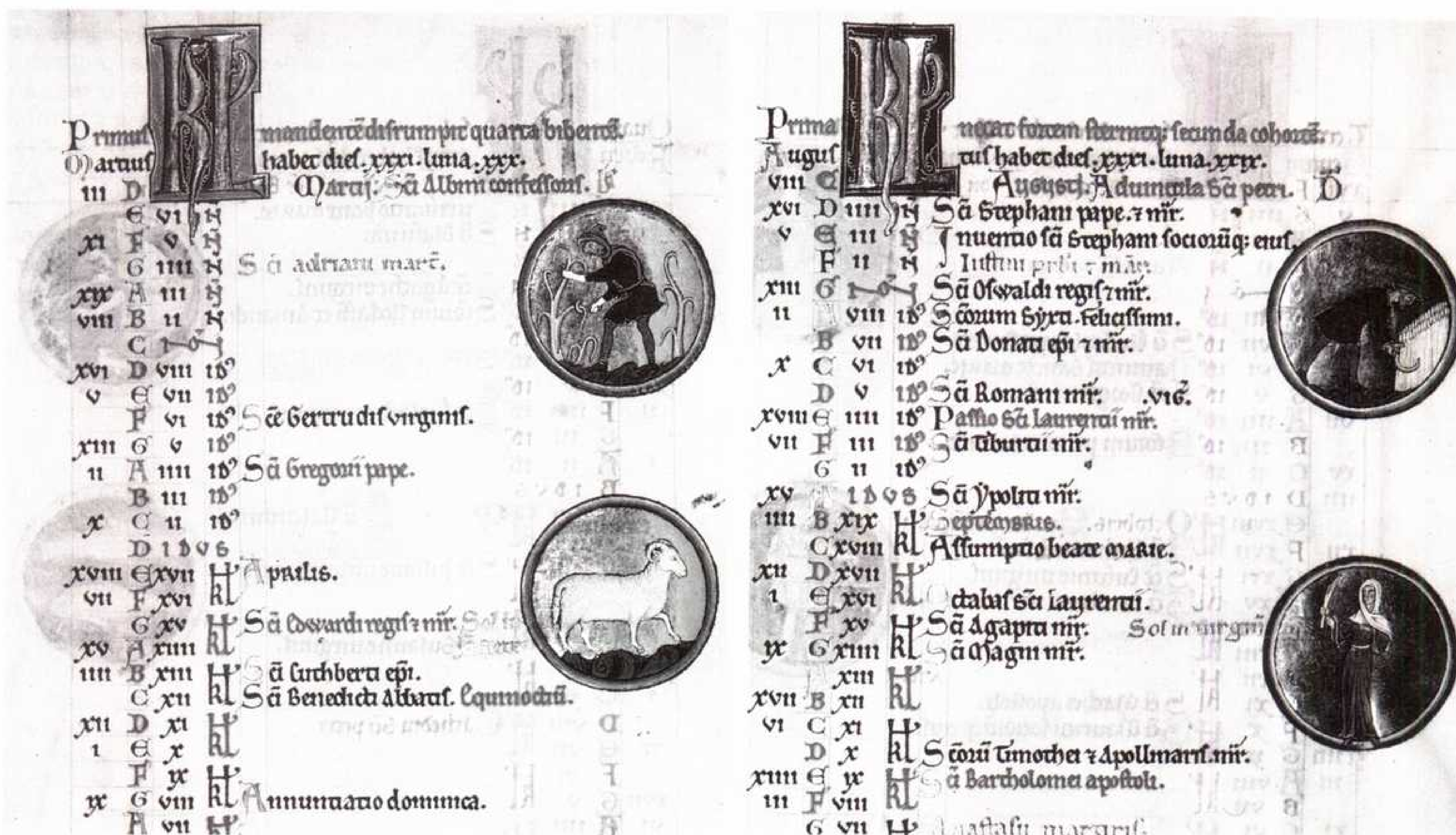
Guillaume de Conches (1080-1145) en su *Philosophie du monde* ataca aquellas interpretaciones de la Biblia que juzga irracionales. Algunos exegetas, en efecto, explicaban como sigue la presencia de las aguas encima del firmamento: «por encima del éter hay aguas congeladas, que aparecen a nuestros ojos como una membrana extendida por encima de la cual se encuentran aguas verdaderas». Para Guillaume, no es cierto: «vamos a demostrar que esto es contrario a la razón y, por tanto, imposible; mostraremos también cómo ha de ser comprendida la Sagrada Escritura en los pasajes que se citan a continuación».

Las explicaciones proporcionadas por Guillaume, confesémoslo, resultan hoy en día muy frágiles. Se trata esencialmente de consideraciones que no tienen mucho que ver con la física, la astronomía o la cosmología actuales... Pero el paso dado es por sí mismo de gran interés. Según Guillaume de Conches, el espíritu humano debe buscar la inteligibilidad en todas partes utilizando sus propios recursos. Puede ocurrir que no se encuentre la explicación. Entonces «si una cosa que afirma la Sagrada Escritura escapa a la razón, debemos confiarnos al Espíritu Santo y a la fe». Pero, primero hay que razonar. El recurrir al Espíritu Santo no debe servir de excusa a la pereza intelectual.

«Dios puede transformar un tronco de árbol en un becerro. Pero ¿lo ha hecho alguna vez?

En su militantismo «científico», Guillaume fue muy lejos. Dio pruebas de severidad, de desprecio, para con los clérigos faltos de curiosidad: «*quieren que los demás sean compañeros de su ignorancia; no que investiguen; desean que creamos, como hacen los campesinos, sin buscar la razón de las cosas*». Verdaderamente, es demasiado fácil recurrir a Dios en todas las circunstancias y refugiarse en una humildad laxa: «*Ignoramos cómo es, pero sabemos que Dios puede hacerlo*». En cierto sentido, es cierto que Dios lo puede hacer todo. Pero: «*¡Dios no hace todo lo que puede hacer; hablando como un campesino, puede hacer, de un tronco de árbol, un becerro ¿lo ha hecho alguna vez? Que demuestren, pues, la razón por la cual Él es como ellos pretenden, o que dejen de afirmar así!*»[(4)]

Otros chartresianos desarrollaron ideas análogas, como Thierry de Chartres (muerto hacia 1150), Gilbert de la Porrée (1076-1154) y Jean de Salisbury (1110-1180). De hecho, cabe considerar que se trató de un movimiento



En el siglo XII, varios teólogos dieron pruebas de cierto «naturalismo»; en lugar de interpretar los objetos que les rodeaban remitiéndose exclusivamente a la Biblia, concibieron la naturaleza como sumisa a sus propias leyes. Es detectable el que una tendencia análoga también sea patente en el arte de la época. La naturaleza fue descrita con mayor esmero, con más objetividad. Los historiadores han detectado muchas trazas de este realismo. Así, en la Antigüedad y al principio de la Edad Media, los meses estaban representados en los calendarios de forma bastante abstracta, mediante símbolos o alegorías. Pero en el curso del siglo XII, las ilustraciones se hicieron más concretas: son las actividades humanas las que permiten identificar los distintos meses. En el mes de marzo, por ejemplo, un campesino poda su viña; el mes de agosto conoce la recolección. Estos detalles testimonian un cambio de actitud en la observación de la naturaleza, que ya no se reduce a un conjunto de fuerzas misteriosas o a la expresión de la voluntad de Dios; aparece a menudo como algo que el hombre puede transformar y explotar con su trabajo. (Salterio de Ingeburg, hacia 1210, Chantilly, Museo Condé. Fotos Giraudon.)

(4) Véase P. Duhen. *Le système du monde. Historie des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, tomo III, reimpresión. Hermann, 1958, págs. 96-98.

«Yo, ya he aprendido de mis maestros árabes a tomar la razón como guía. Pero tú, sumiso a los falsos semblantes de la autoridad, tú te dejas conducir por un cabestro.»

muy amplio, cuyas manifestaciones fueron diversas pero que corresponden a un mismo estado de ánimo. Citemos también a Bernard Silvestre, cuya *Cosmographie* escrita entre 1145 y 1148 fue dedicada a Thierry de Chartres. Otros autores, incluso desde una posición filosófica netamente distinta, contribuyeron a su manera a alentar el estudio racional de la naturaleza.

Pierre Abélard (1079-1142), uno de los grandes pioneros del pensamiento escolástico, merece ciertamente distinción. Experto en el arte del razonamiento riguroso, formuló análisis (por ejemplo sobre la necesidad de la duda sistemática) que han desempeñado un importante papel en la formación del espíritu científico. En particular, afirmaba que Dios había creado la naturaleza de tal manera que ella misma podía producir sus efectos sin intervención de ningún poder externo. Para que la simple idea de una «ciencia de la naturaleza» tomara cuerpo, una tesis de este tipo era evidentemente fundamental. Otro autor, Hugues de Saint-Victor (1096-1141), a pesar de ser un teólogo de elevado espíritu, a menudo hablaba de las ciencias profanas de forma muy positiva. También él contribuyó a definir la naturaleza como objeto de realidad estudiable *según la física* (es decir, según sus propias leyes).

Dentro de estos esquemas no todo era nuevo; no eran raras las imitaciones del pensamiento platónico o estoico. La verdadera originalidad residía más bien en un cierto tono, una cierta alegría epistemológica, una cierta confianza en el conocimiento humano. Lejos de constituir una «revolución» puramente teórica, el movimiento «naturalista» fue ciertamente la expresión de una mutación cultural mucho más vasta, mutación que afectó en particular al terreno del arte.

Como señaló el historiador de las técnicas Lynn White Jr., las mismas fuerzas que renovaron la curiosidad de los filosófos también se dejaron sentir en los pintores y en los escultores «dándoles una percepción más aguda de los resultados de la experiencia concreta y renovando su interés por las realidades físicas». En el arte románico, las plantas y los animales están representados de forma muy estilizada, muy «abstracta»; no siempre resulta fácil ver si un determinado motivo ornamental tiene o no relación con un paisaje real. Pero entre 1140 y 1170, con la aparición del arte gótico, las preocupaciones «naturalistas» se hacen más patentes: a veces se tiene el sentimiento de que los artistas se sacian de imitar a la naturaleza. En el siglo XIII, añade Lynn White Jr., será posible reconocer sin ambigüedades las especies representadas... El arte del escultor, en cierta manera, se acerca al del botánico. Y justamente, en los herbarios de esta época, se constata que en la ciencia de la botánica se toma cada vez más en serio la descripción exacta de las plantas.[5] Para comprender mejor el significado cultural de la «revolución» operada en los chartresianos este paralelismo con el arte puede sernos útil. Guillaume de Conches y sus colegas aparecen como intelectuales sólidamente enraizados en un determinado medio histórico. Lo que expresan en sus especulaciones teóricas es una nueva mentalidad, que tendía a propagarse a muchos sectores de la sociedad occidental.

Para un nuevo tipo de conocimiento: Adelard de Bath

Con el fin de concretar estas consideraciones generales, nos vamos a detener un poco en un personaje que, según la opinión unánime de los historiadores, encarna espectacularmente la mutación epistemológica del siglo XII: Adelard de Bath. Como indica su nombre se trataba de un inglés. Fue estudiante en Tours y más tarde profesor en Laon. Viajó durante siete años, visitando sucesivamente Italia, Grecia, Sicilia, Siria y sin lugar a dudas, Palestina y España. Regresó a Inglaterra, donde dedicó su tratado sobre el astrolabio a Henry Plantagenet, futuro Henry II, entre 1142 y 1146. Se cree que participó en la gestión de las finanzas reales. Después del año 1146 su nombre no es mencionado en ninguna parte; según algunos historiadores, murió hacia 1150.[6] Si Adélard ha merecido la atención de los medievalistas es por dos razones correlativas.

Por una parte, fue uno de los primeros en dar a conocer al Occidente cristiano los textos científicos de los árabes. Él fue, por ejemplo, quien tradujo al latín los *Elementos* de Euclides a partir de una versión árabe y las *tablas astronómicas* de al-Kwàrizmi, así como un texto astrológico importante: la *Breve introducción a la astronomía* de Abū Ma'shar; por otra, Adélard reprochó acaloradamente a los autores de su época el dejarse deslumbrar por el prestigio de las «autoridades». Él, por el contrario, fue un «moderno», tal como él mismo subrayaba muchas veces utilizando la palabra latina correspondiente *(modernus)*. En otros términos, era profundamente consciente del interés de la ciencia, que había descubierto a partir de los árabes. Para promover un mejor conocimiento de la naturaleza era necesario estar dispuesto a dirigirse resolutivamente a estos «maestros» que habían asimilado para sí y desarrollado el legado de los antiguos griegos.

En el siglo XII, las palabras no tenían siempre el mismo sentido que hoy. Pero, en definitiva, el contraste es significativo. Por un lado hay una tradición pedagógica que se basa en recopilaciones de explicaciones desprovistas de rigor; por el otro, declara Adélard de Bath, una investigación basada en el ejercicio de la «razón». *Razón contra autoridad:* este tema, todavía vigente en nuestros días, expresa un mensaje esencial. Para asociar el ejemplo con el precepto Adelard aborda problemas precisos. En una de sus obras, las *Cuestiones naturales*, dialoga con su sobrino. Este último, evidentemente, representa la cultura tradicional, la de las «escuelas de la Galia». Adélard encarna el modernismo. Como diríamos hoy, intenta imponer un nuevo «paradigma», una nueva filosofía científica basada en la razón en las «opiniones de los sarracenos».

La teoría de los cuatro elementos

En su primera conversación ya asistimos a un enfrentamiento entre dos tipos de pensamiento. Si se toma tierra finamente tamizada, dice el sobrino, y se pone en un recipiente, se ve como aparecen plantas al cabo de un cierto tiempo. De ahí la cuestión: «*¿Cómo puedes explicarlo si no es por la intervención maravillosa de la voluntad divina?*». Ante esta provocación, Adélard no se desconcierta: «*Seguramente, el hecho de que las plantas surjan de la tierra es un deseo del Creador. Pero no se produce sin motivo. Para que la cuestión quede más clara, empezaré por conceder que las plantas nacen de la tierra. Sin embargo, ésta no es pura; se trata de una mezcla que contiene en cada una de sus partículas los cuatro elementos (tierra, agua, aire, fuego) con sus cualidades propias*». Seguidamente se lanza a dar una explicación basada en la teoría de los cuatro elementos. La tierra ordinaria parece simple y homogénea; pero, en realidad, contiene en proporciones diversas los elementos fundamentales: la Tierra, el Agua, el Aire y el Fuego. Estos cuatro elementos son principios que nuestros sentidos no perciben directamente, pero que explican fenómenos que observamos en la naturaleza. El elemento Tierra, por ejemplo, explica la dureza; el elemento Agua, la fluidez; y así podríamos continuar. Una vez admitidos estos presupuestos teóricos, Adélard se considera capaz de responder a su sobrino: si la tierra ordinaria produce los vegetales, la razón está en que los elementos fundamentales, no perceptibles por nuestra vista, desencadenan «necesariamente» ciertos procesos físicos. No hay ninguna necesidad de hacer intervenir una particular voluntad de Dios.

Es evidente que la teoría de los

(5) L. White Jr., *Medieval religion and technology*, University of California Press, 1978. Pág. 23 y siguientes. Se refiere por ejemplo, a D. Jalabert. «La flore gothique: ses origines son évolution du XII^e au XV^e siècle. *Bulletin monumental*, XCI (1932). págs. 181-246; y a E. Male. *L'art religieux du XII^e siècle eu France* París, 1928.

(6) Para la biografía de Adélard de Bath consúltese, por ejemplo, *Dictionary of scientific biography* publicado bajo la dirección de C.C. Gillispie. Charles Scribner's sons. vol. 1. 1970. págs. 60-64. Según Duhem *(Système du monde*, ya citado, tomo III, pág. 169), Adélard mantenía relaciones bastante estrechas con la escuela de Chartres.

cuatro elementos (cuyo origen se puede remontar a Empédocles de Agrigento, en el siglo v antes de C.) es susceptible de ser criticada; pero su desarrollo intelectual es parecido al que conducirá más tarde a la tabla de Mendeleïev... Ésta es la convicción fundamental: los hechos observados en la naturaleza *no se producen sin motivo.* A partir de ahí, se hace posible la investigación científica. Aunque Dios sea el fundamento de todas las cosas, existe un «orden natural» que expresa una «disposición racional». Mejor aún, Adélard de Bath afirma que las trayectorias de los astros revelan un «orden constante» y obedecen a «leyes numéricas». Al leer sus textos detenidamente descubrimos afirmaciones, que en el siglo xx parecen muy raras. Adélard, en efecto, admite que los cuerpos celestes «están vivos» y se comportan como criaturas con «razón». Pero esto no excluye en modo alguno la idea de un orden celeste estable y rigurosamente estructurado. Al contrario ¡el hecho de que los planetas no sobrepasen jamás los límites del zodíaco prueba que se ajustan a las exigencias de la razón!

Hay que admitir, pues, que en algunos aspectos el pensamiento de Adélard es arcaico. Pero sería erróneo creer que las ideas «astrobiológicas» o «astrológicas» se oponen radicalmente a cualquier forma de racionalidad científica. El mismo Galileo, no lo olvidemos, hacía horóscopos.[7] Tanto si los astros son considerados o no como «seres vivientes», pueden ser objeto de una ciencia autónoma; lo que cuenta es que se pueda desarrollar una investigación sistemática que conduzca a nuevos resultados.

Un juez supremo: la razón

Adélard de Bath, a pesar de haber denunciado a las «autoridades», sufrió asimismo influencias que cabe juzgar de dudosas... Pero, al menos, proclamó la necesidad de una aproximación más racional y más fecunda. Esta gran profesión de fe es citada frecuentemente: «*Yo he aprendido de mis maestros árabes a tomar la razón por guía; pero tú, sometido a los falsos semblantes de la autoridad te dejas conducir por un cabestro. ¿Qué nombre podemos dar a la autoridad sino el de cabestro? De la misma manera que los animales estúpidos son conducidos por un cabestro e ignoran dónde y por qué se les conduce, contentándose con ver y seguir la cuerda que les ata, asimismo la mayoría de vosotros, prisioneros y encadenados por una credulidad animal, os dejáis conducir por creencias peligrosas. (...) Porque no comprendéis que la razón ha sido dada a cada individuo con el fin de que pueda discernir lo verdadero de lo falso, utilizando la razón como juez supremo*».



Los *Bestiarios* medievales son los compendios en los que los recopiladores acumulaban un tropel de conocimentos, a veces muy fantasiosos, sobre los animales. Evidentemente esta literatura no resiste el examen de un zoólogo actual. Era corriente admitir, por ejemplo, que el cocodrilo tenía una mandíbula superior móvil. También se decía que el castor se autoamputaba los testículos cuando era perseguido; como éstos constituían la base de un preciado medicamento, el cazador dejaba huir al animal... De hecho, los testículos del castor son internos; pero esta historia tenía la ventaja de explicar el origen del nombre de este animal («castor» guarda relación con «castrado»). Lo más sorprendente es que los autores de los *Bestiarios* hacían de los animales símbolos morales y religiosos. El elefante y su hembra, a causa de su supuesta castidad, representaban a Adán y Eva antes del pecado original. El Gran Elefante, se identificaba con la ley hebraica; el elefante joven simbolizaba al Buen Samaritano del Evangelio... Hacia el siglo XII, se observa el retroceso de estas interpretaciones simbólicas. Así, Alberto Magno (nacido hacia 1193 y muerto en 1280) dio pruebas de un verdadero espíritu crítico, y en su tratado sobre los animales aportó algunas observaciones personales. (Ilustración tomada de un bestiario inglés del siglo XIII. Foto Giraudon.)

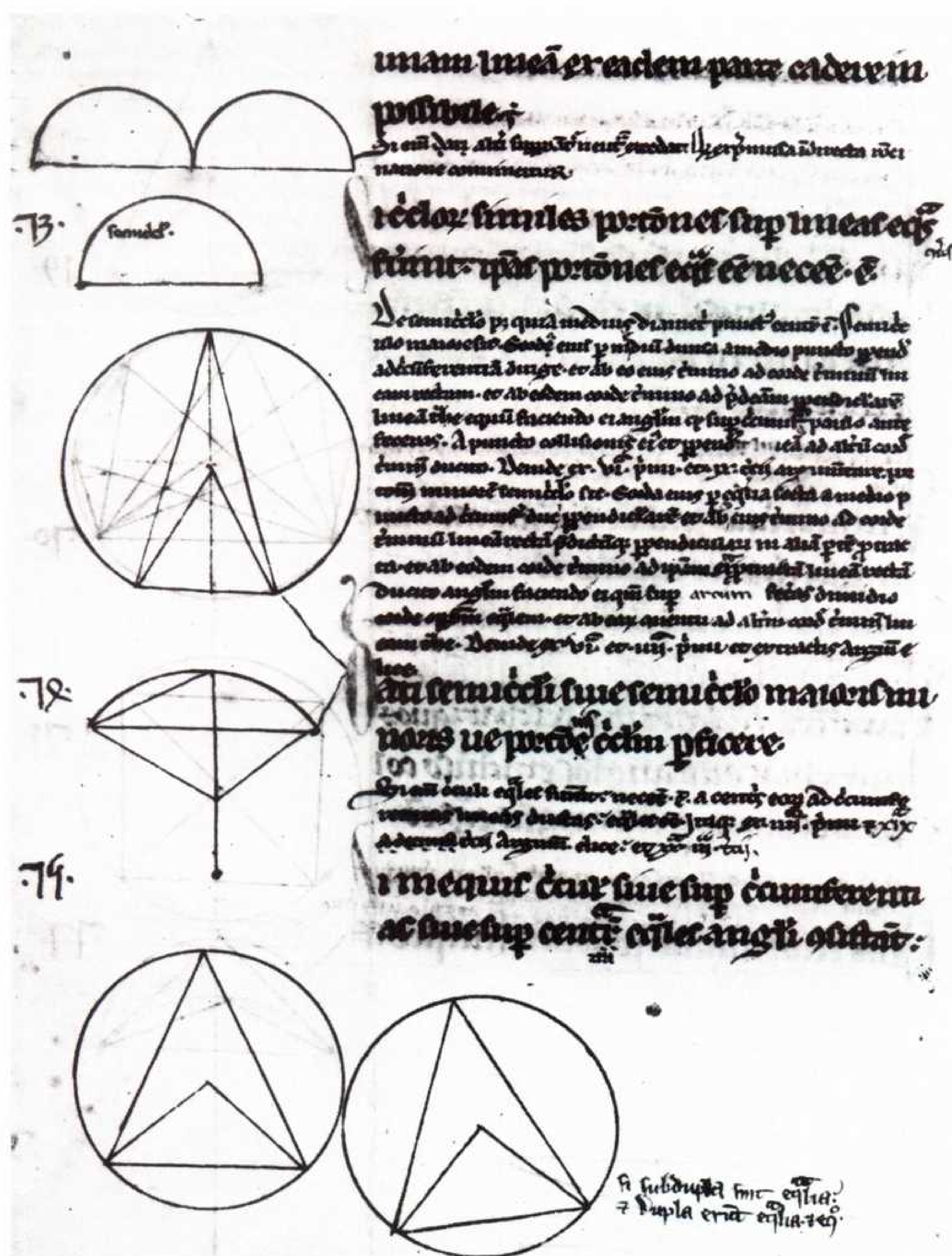
(7) Véase, por ejemplo, L. White Jr., ***Medieval religion and technology***, ya citado, págs. 312-313. Galileo, entre otros, hizo los horóscopos de sus dos hijas. El último horóscopo redactado por su mano del que disponemos data de 1603. También Kepler, sabido es, practicó la astrología.

La Alta Edad Media, obsesionada por el problema de la salvación, veía en todas partes símbolos religiosos. Así, el cocodrilo, acechando incansablemente a su presa, representaba el Mal.

¿Por qué algunos animales ven mejor de noche que de día? La respuesta de Adélard está fundamentada en la idea de que el ojo «instrumento de la visión», contiene muchos «humores»; los animales que ven mejor de noche «tienen una gran cantidad de humor blanco y muy poco humor negro». Hoy día, este esquema explicativo nos parece muy aproximativo. Pero el problema está planteado de forma realista, es decir sobre el plano de la anatomía y de la fisiología.

En otra conversación, el sobrino evoca un hecho muy asombroso del cual ha sido testigo en casa de una hechicera. Esta mujer poseía un recipiente cuya parte superior e inferior estaban perforadas por pequeños agujeros. Cuando los agujeros no estaban obstruidos, el agua del recipiente se derramaba libremente. Pero, cuando la sirvienta tapaba con su pulgar los agujeros de la parte superior, el agua dejaba de derramarse. Sin embargo, en la parte baja del recipiente no había ningún obstáculo que detuviera al agua. ¿No hay que ver aquí el efecto de un «poder maravilloso»? ¿Cómo explicar que con un gesto tan simple se pueda parar la salida de líquido? Adélard declara inmediatamente que esta «magia» es un hecho *natural.* Los diversos «elementos», a causa de sus afinidades recíprocas, se comportan de forma que ningún vacío los separe. Mientras se impida la entrada de aire, el agua no podrá escapar. Nada de «maravilloso», pues; todo resulta claro gracias al justo conocimiento de las propiedades de los elementos.

Adélard tampoco tiene inconveniente alguno en resolver el siguiente problema: «¿Por qué el globo terrestre permanece siempre en el mismo lugar? ¿Qué es lo que le sirve de soporte?». Se ajusta a la razón el hecho de que nuestro globo no caiga. Dado que está hecho de tierra y que ésta, como todo lo que pesa, tiende a descender cuanto más posible. En una esfera, es evidente que «el punto más bajo se confunde con el centro». Es pues fácil de comprender que la gravedad, lejos de causar la caída del globo terrestre, asegura su «estabilidad» y su «cohesión». Seguidamente viene lo que los epistemólogos llaman un experimento del pensamiento: si un túnel atravesara la Tierra según uno de sus diámetros y se tirase una piedra ¿hasta dónde llegaría? La respuesta es inmediata. Adélard, evocando la misma «causa» que explica la estabilidad de la Tierra, concluye que la piedra se encontraría finalmente en reposo en el centro de nuestro globo.(8) Indiscutiblemente, destaca en Adélard el deseo de introducir en todos los dominios una inteligibilidad de tipo «científico». El hecho de que no siempre haya proporcionado explicaciones exactas no modifica en nada este aspecto. ¡En todo caso habría que reprocharle el no haber conocido la termodinámica, la mecánica cuántica y la estructura del ADN!



A partir del siglo X, en el Norte de España, fueron traducidos al latín numerosos textos científicos árabes. Sobre todo a finales del siglo XI, después de que los cristianos hubieran reconquistado Toledo y otros territorios, las traducciones se multiplicaron; y, en el siglo XII, el movimiento tomó aún mayor amplitud, haciendo conocer al Occidente cristiano numerosos tratados escritos por los árabes o procedentes de la Antigüedad clásica. Se trataba de obras de filosofía, de matemáticas, de medicina; pero también de magia, de alquimia y de astrología, pues la demanda en estas tres últimas disciplinas era grande. Para el futuro de la ciencia occidental, esta afluencia de traducciones tendría una gran importancia. No cabe minimizar, no obstante la originalidad de los intelectuales del Medioevo. Algunas «versiones» eran de hecho pseudotraducciones redactadas directamente por autores cristianos que preferían guardar el anonimato... Algunos historiadores señalan la continuidad de la traducción desde los antiguos Griegos a la ciencia moderna. Otros, por contra, estiman que la Edad Media ha aportado innovaciones reales. Veamos cómo se expresa el historiador norteamericano Lynn White Jr. *«La ciencia moderna no es simplemente la continuación de un movimiento científico nacido en la Antigüedad y seguidamente interrumpido; constituye una empresa nueva, creada a finales de la Edad Media y con intereses, presupuestos y métodos diferentes de los griegos».* (Fragmento de una traducción de *los Elementos* de Euclides, siglo XIII. Recordemos que en el siglo XII, Adélard de Bath había traducido esta obra a partir de una versión árabe. Foto Biblioteca Nacional.)

(8) Se encontrarán en la obra de R.C. Dales, citada anteriormente, muchos textos interesantes extraídos de las *Questions naturelles* de Adélard.

Interpretaciones simbólicas de las explicaciones científicas

La importancia de pensadores tales como Adélard de Bath no radica esencialmente en la originalidad de sus ideas, pues éstas a menudo provenían de los árabes o de autores griegos, al-

gunos de cuyos textos eran ya conocidos en el Occidente medieval (pensemos por ejemplo en el *Timeo* de Platón). Es, más bien, en el plano cultural, en función de un contexto determinado, donde hay que apreciar sus ofensivas «racionalistas». El estudio de la naturaleza procedía generalmente según un estilo que excluía todo tipo de investigación «científica». Como ha escrito el historiador italiano Tullio Gregory, los pensadores de la Alta Edad Media no intentaban descubrir en la naturaleza «razones» o «causas naturales» *sino significados y enseñanzas religiosas y morales.* Dicho de otra manera, los objetos que se encuentran en el mundo, como tales, no tenían para ellos ningún interés. La única realidad verdadera era Dios. La naturaleza, privada de cualquier realidad autónoma, era únicamente «*un libro escrito por Dios*» que había que descifrar e interpretar refiriéndose a la Biblia y a los dogmas cristianos. En consecuencia, «el razonamiento físico se convertía inmediatamente en razonamiento edificante, cambiando la realidad por símbolos y alegorías».

En los *Bestiarios* medievales, son recopilaciones de conocimientos (o de pseudoconocimientos), de anécdotas y de diversas reflexiones relativas a los animales, esta tendencia se manifiesta continuamente. Algunas notaciones hacen referencia a anatomía, fisiología o etología de los animales. Pero los autores están siempre preocupados en encontrar en la naturaleza símbolos religiosos, lecciones morales. El Fénix, ave a la que se le atribuía la facultad de renacer de sus cenizas, simbolizaba a Cristo resucitado. El elefante y su hembra, so pretexo de que no tenían «ningún deseo de copular», representaban a Adán y Eva tal como eran antes del pecado original. El cocodrilo, que acecha largo tiempo a su presa, aparecía como el símbolo del Mal. Hablando en propiedad, no se trata de *errores,* sino de otra manera de mirar a los seres y a las cosas.



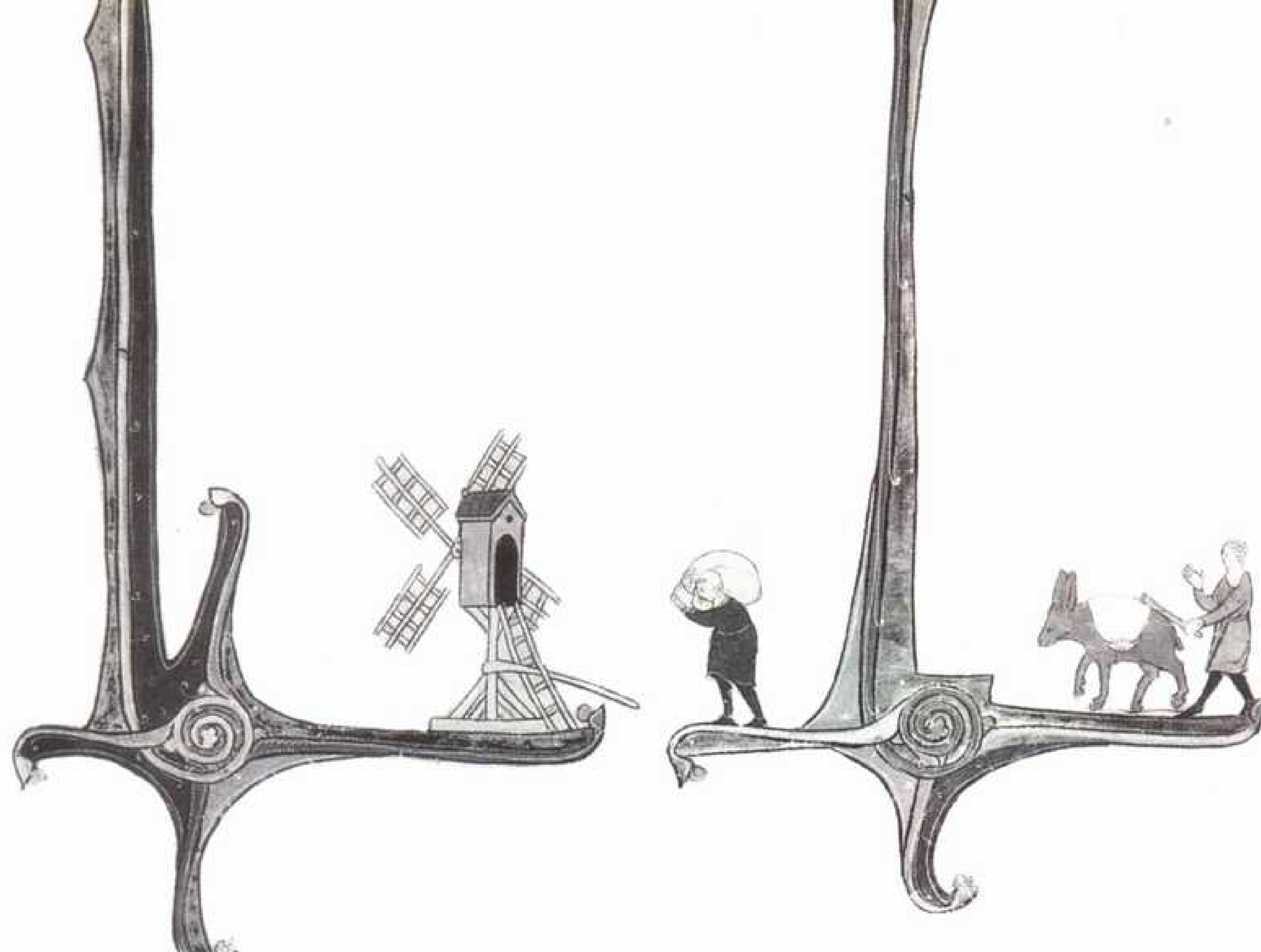
¿Cómo nacieron las Universidades? A esta pregunta no es fácil responder con precisión aunque los documentos al respecto verdaderamente significativos datan solamente de principios del siglo XIII parece cierto que a partir del siglo XII, las actividades docentes conocieron un importante desarrollo en los grandes centros urbanos. En París, en particular, surgieron numerosos centros de enseñanza alrededor de la catedral y después en la orilla izquierda del Sena. En Bolonia, en Oxford y en muchas otras ciudades se perfilaban movimientos análogos. Al principio, la universidad no fue una institución de enseñanza en el sentido moderno de la palabra, sino una asociación corporativa destinada a defender los intereses de los maestros y de los estudiantes. Muy rápidamente adquirió suficiente importancia para suscitar la desconfianza o el interés de los poderes laicos y eclesiásticos. Por último, fueron subordinadas al papado. Social e intelectualmente constituían una institución principal y, subrayémoslo, de carácter internacional. Dos eran las prácticas pedagógicas esenciales: la lección *(lectio)* y la discusión *(disputatio).* La primera consistía en explicar y comentar un texto: la segunda, que podía tener lugar delante de una clase o de toda la Facultad, consistía en un debate, con objeciones y respuestas a las objecciones, en torno a una materia del curso (o incluso sobre algún tema de actualidad). (Gossuin de Metz, *De imagine mundi,* mediados del siglo XII. Maestro de aritmética. Foto Biblioteca Nacional/Archivo Seuil.)

Pierre Damien y el desprecio de la ciencia

Un teólogo del siglo XI, Pierre Damien, ilustra perfectamente esta actitud religiosa. En él se conjugan bastante lógicamente el desprecio del cuerpo humano y el desprecio de la filosofía. Pues el hombre es carroña, polvo y ceniza; su único problema concierne a su salud espiritual. En cuanto a la filosofía, es un invento del diablo. Este texto es suficientemente explícito: «*Platón escruta los secretos de la misteriosa naturaleza, pone límites a las órbitas de los planetas y calcula el curso de los astros: lo rechazo con desdén. Pitágoras divide en latitudes la esfera terrestre: no le hago demasiado caso (...) Euclides atiende a problemas complicados con sus figuras geométricas: también lo repudio; en cuanto a los retóricos, con sus silogismos y sus especulaciones sofisticadas, los descalifico por indignos de tratar esta cuestión*».

Epistemológicamente, la posibilidad de una ciencia verdadera quedaba contestada. Ya que Dios, según Pierre Damien, escaba a las exigencias del pensamiento lógico; y la naturaleza, creada por Dios, no podía ser objeto de una investigación racional. Algunos autores creen que el razonamiento que sigue es válido: si un bosque se quema, se consume. ¡Pues no! Ya que, recuerda Pierre Damien, la Biblia nos enseña que Moisés vio como se quemaba un matorral sin consumirse... El trabajo histórico de Adélard y otros ha consistido en difundir una filosofía que ha podido servir de base para un nuevo saber. Pero, para evitar simplificaciones abusivas, quisiera formular dos hechos destacables.

En primer lugar, hay que considerar que no todos los teólogos medievales fueron tan radicales como Pierre Damien. Muchos, en lugar de condenar categóricamente la filosofía y todos los conocimientos paganos, aceptaban que se recurriese a argumentos racionales



En la Europa medieval, las técnicas conocieron un destacado desarrollo. No todas las ideas llevadas a la práctica eran nuevas; a menudo hay antecedentes en las épocas anteriores, sea en Europa sea en otras civilizaciones. Pero lo nuevo era este movimiento general que llevó a los agricultores y artesanos a generalizar el empleo de métodos y utensilios hasta entonces inútiles o poco utilizados. El uso del molino de agua se extendió por doquier durante el siglo XII. Pero fue únicamente a finales del mismo siglo cuando apareció en el Norte de Europa el molino de viento de eje horizontal, al punto de gran éxito. Gracias a estas fuentes de energía pudieron mecanizarse muchas actividades (por ejemplo, en la metalurgia y en la industria textil). Nótese que la palabra ingeniero *(ingeniator)* hace aparición en el siglo XIII. Occidente «desacraliza» progresivamente la naturaleza, que pasó a ser susceptible de explotación. (Obituario de la abadía de Notre-Dame des Prés, Valenciennes. Foto Giraudon.)

para confirmar las enseñanzas de la fe. La oposición absoluta entre «religión cristiana» y «ciencia» debe, pues, ser evitada; no es exacto que la religión rechace cualquier forma de «racionalismo». El cristianismo, de hecho, no era monolítico. A lo largo de toda la Edad Media se manifestaron tensiones entre fe y razón. Por último, la corriente racionalista conoció un desarrollo tal que contribuyó a engendrar la ciencia moderna...[9] Se puede entender que este proceso es paradójico. En todo caso, fue dentro del cristianismo mismo donde se desarrollaron no pocas discusiones filosóficas que se referían a las capacidades y a los límites de la razón humana, a la posibilidad de un conocimiento positivo de la naturaleza, etc. Si no se tiene en cuenta esta dialéctica entre fe y razón se corre el riesgo de adquirir una visión deformada de la historia del pensamiento medieval (y post-medieval).

La enseñanza medieval: trivium y quadrivium

En segundo lugar, evitemos subestimar el sistema educativo de la Edad Media. A partir del siglo VI están los monasterios, que no sólo aseguraban la formación de sus monjes sino que, frecuentemente, poseían escuelas anexas. Carlomagno, ya lo hemos dicho, tuvo iniciativas importantes en el terreno de la enseñanza. En particular, instituyó una tradición pedagógica que dividía las materias lectivas en dos grupos: por una parte, el *trivium*, que comprendía la gramática, la retórica y la dialéctica (lógica), y por la otra, el *quadrivium*, más «científico», que comprendía la aritmética, la geometría, la música (o más concretamente la teoría musical) y la astronomía. Estas siete disciplinas constituían lo que se llamaban las «artes liberales». Diversos textos heredados de la antigüedad clásica o redactados posteriormente servían de base para esta enseñanza. Para la retórica, por ejemplo, se recurría a Cicerón y a Martianus Capella (siglo V); para la dialéctica, se utilizaban algunas obras de Aristóteles traducidas al latín y los tratados escritos por Boecio (nacido hacia 480 y muerto en 524).

En aritmética, geometría y astronomía, los conocimientos eran muy limitados y rudimentarios. El saber científico de los griegos era transmitido esencialmente por recopilaciones cuyo rigor no era precisamente su principal virtud. Isidoro de Sevilla (560-636), que fue uno de los principales recopiladores, ha dejado una obra titulada *Etimologías*, cuya influencia fue enorme; se abordaban numerosos aspectos, pero las fuentes utilizadas eran a menudo deformadas y no eran raras las afirmaciones más fantásticas. De todas formas, durante la Alta Edad Media, la enseñanza de las materias más científicas frecuentemente fue omitida. La élite religiosa daba importancia sobre todo al *trivium*, que era más literario; y, dentro del *trivium*, la mejor parte correspondía a la gramática y a la retórica. Era difícil, por otro lado, encontrar profesores que poseyeran conocimientos sólidos en matemáticas, astronomía y física.

El balance puede parecer, pues, algo negativo. Incluso después del «renacimiento carolingio» del siglo XI, la situación seguía siendo relativamente mediocre. La herencia griega no se había perdido del todo, pero era mal conocida, mal comprendida; no había fructificado en un razonamiento más profundo. Había, sin embargo, una cultura y una enseñanza que formaba al espíritu en una cierta gimnasia intelectual. Se puede lamentar, retrospectivamente, que el estudio de la gramática latina y de la elocuencia haya ocupado un lugar demasiado importante; cabe deplorar también que la religión, en esta época, apenas haya favorecido el estudio de la naturaleza. Pero los recursos intelectuales fueron apreciables a pesar de todo. Sea porque las circunstancias se hicieran favorables sea que surgieran estímulos (por ejmplo gracias a ciertas transformaciones sociales o gracias a los contactos con el Islam), el hecho es que la Europa Cristiana estaba despertando.

Oleada de textos traducidos del árabe

A comienzos del siglo XI se manifestó un vivo interés por la lógica. Con bastante rapidez, esta disciplina ejerció una fuerte influencia en la enseñanza de la teología y del derecho. Se ha podido observar en este periodo un «viraje decisivo de la historia de Occidente». Inicialmente, esta renovación se efectuó sin influencias del exterior, pero, muy pronto, el pensamiento filosófico y científico se beneficiaría de toda una literatura traducida del árabe. De esta manera, los cristianos recibían una herencia doble. De una parte, tenían acceso directo a los trabajos originales de los árabes, y de la otra, descubrieron numerosos textos griegos importantes. Al final del siglo XI se organizó un verdadero movimiento de traducción. Toledo caía en manos de los cristianos en 1085; un poco más tarde, en 1091, le tocó el turno a Sicilia. En el siglo XII, las traducciones fueron cada vez más numerosas. En este proceso, cupo a Toledo un papel preponderante. Pero, a la vez, otros centros de traducción se revelaron asimismo muy activos; por ejemplo, Salerno en Italia de Sur.

Llegó un momento en que la tarea era realmente complicada; de tal forma que ¡un texto griego podía inicialmente haber sido traducido al árabe, antes de serlo al español y finalmente al latín! Una pléyade de especialistas se pusieron a trabajar: Platón de Tívoli, Robert de Chester, Hermann de Carintia, Dominicus Gundisalvi, etc. Uno de los más celebres fue Gérard de Cremona (1114-1187), que tradujo por lo menos setenta obras del árabe. Entre ellas mencionaremos el *Almageste* de Ptolomeo, diversos tratados de Aristóteles (que se referían a la física, cosmología, lógica, etc.), así como textos de medicina y tratados varios de alquimia y de astrología. No olvidemos que Adélard de Bath, como hemos visto, participó en esta empresa tan importante para el futuro de la ciencia occidental.

(9) ¡Esto no significa que el nacimiento de la ciencia moderna se explique *exclusivamente* como un desarrollo de la religión cristiana! Hay buenas razones para pensar que han intervenido otras motivaciones históricas. Véase, por ejemplo, mi artículo: «Au commencement était la machine». *La Recherche*, n.° 63, pág. 46, enero 1976.

Nacimiento de las universidades

En el siglo XII tomó cuerpo una institución importante: la Universidad. Durante mucho tiempo, las escuelas monásticas habían dominado el sistema de enseñanza; pero poco a poco iban afianzándose las escuelas urbanas. En París, especialmente en el núcleo de la Cité, desde el siglo XI se venía desarrollando una intensa actividad pedagógica alrededor de la catedral; en el siglo XII, algunas escuelas se desplazaron a la orilla izquierda del Sena y prosperaron rápidamente. Maestros y estudiantes afluían de todos los puntos de Europa. Así surgió la Universidad propiamente dicha, que era una organización corporativa *(universitas)* de maestros y estudiantes. Este punto merece ser subrayado: la Universidad, en su origen, no era una institución de enseñanza provista de locales propios sino una asociación destinada a defender los intereses de estudiantes y profesores. En función de las condiciones locales y de las especialidades enseñadas, el fenómeno universitario revistió formas variadas. Bolonia, por ejemplo, era especialmente activa en el terreno del derecho; Montpellier fue durante mucho tiempo célebre por la enseñanza de la medicina.

El estatuto universitario no estaba desprovisto de ambigüedades. Para asegurarse una cierta autonomía, como destaca Jacques Le Goff, había que luchar «tanto contra los poderes eclesiásticos como contra los poderes laicos.»[10] En París, los estudiantes se enfrentarán con la policía real; las reyertas entre estudiantes y burgueses serán frecuentes. Trabajadores intelectuales, los universitarios eran controlados por la Iglesia. Progresivamente obtuvieron importantes privilegios; pero sólo escaparon del dominio de las autoridades eclesiásticas locales aceptando la protección del Papa. De ahí que, según Jacques Le Goff, se convirtieran, en cierta medida, en «agentes pontificios». El resultado fue la aparición de tiranteces. En el siglo XIII, escribe Etienne Gilson, la universidad de París alberga dos tendencias contradictorias, «una que aboga por un centro de estudios puramente científicos y desinteresados, y otra que trata de subordinar estos estudios a fines religiosos y ponerlos al servicio de una verdadera teocracia intelectual».

Lo cierto es que, gracias a las universidades, la actividad intelectual adquiere peso social y comienza a organizarse eficazmente. El sistema que se afianzó sólidamente a partir del siglo XIII contempla cinco facultades: teología, medicina, derecho canónico y derecho civil, además de la de las artes, que asegura al conjunto de estudiantes una formación general preliminar. Las «artes» son en principio las siete disciplinas liberales del trivium y quadrivium. En la práctica, el programa incluía principalmente lógica, física, cosmología, así como astrología y matemáticas. Los que conocen mal la Edad Media se imaginan fácilmente que, en la época escolástica, la enseñanza superior era exclusivamente literaria y teológica. De esto nada, declara el historiador de las ciencias Edward Grant: todo lo contrario, en la cultura que la facultad de las artes daba a todos los universitarios, eran la lógica y la ciencia las predominantes...[11]

Una reflexión filosófica cada vez más autónoma

Una vez más, se impone la prudencia: sería excesivo creer que el «Renacimiento del siglo XII» introdujo una ruptura radical e implantó por doquier una enseñanza comparable a la enseñanza científica de nuestros días. Tanto más si tenemos en cuenta que la «revolución» operada por la escuela de Chartres y por gentes como Adélard de Bath no fue fecunda al instante; sin lugar a dudas, no hay que considerar las diversas innovaciones del siglo XII





Entre los siglos VI y X, la agricultura del Norte de Europa mejoró considerablemente sus métodos. Contribuyeron a ello muchas innovaciones, entre las cuales preciso es mencionar la técnica de la rotación de cultivos trienales y la utilización del cabestro para el enganche de los caballos. Pero el arado pesado, de origen bastante antiguo y lentamente perfeccionado, constituye quizás el símbolo más característico de este cambio. A diferencia de la reja, que únicamente podía hendir el suelo, este utensilio formado por una reja, un vertedero y generalmente por dos ruedas permitía girar y airear eficazmente la tierra. Los rendimientos se incrementaron; a partir de los siglo X y XI, la existencia de excedentes alimentarios favoreció la expansión demográfica y, al mismo tiempo, el desarrollo, de las ciudades. No hay que subestimar, pues, la importancia de los progresos de la agricultura medieval, gracias a los cuales pudieron extenderse las ciudades antiguas y nacer las nuevas. Así aparecieron estructuras económicas originales imponiéndose poco a poco los modos de vida y de pensamiento del «burgués». (Salterio de Luttrell, hacia 1335-1340. Copyright The British Library Board.)

(10) J. Le Goff. *Les intellectuels au Moyen Age,* Seuil, 1957, pág. 74.
(11) E. Grant, *Physical science in the Middle Ages,* Cambridge university Press, 1977 (primera edición: 1971). pág. 21.

A partir del siglo X, el Occidente conoció un notable impulso demográfico, un neto crecimiento económico y un marcado desarrollo de las ciudades.

(cosmología chartresiana, traducciones a partir del árabe, creación de las universidades) como constituyentes de un movimiento a todas luces coherente. Sin embargo, se había franqueado una etapa importante. Durante largos decenios la teología conservó una posición dominante. Pero en las facultades de las artes, la reflexión filosófica se hizo cada vez más activa y más autónoma; y el programa propuesto por los *modernos* acabó por realizarse. El camino por recorrer desde Adélard de Bath a Galileo Galilei fue largo... Pero, entre los proyectos del primero y los logros del segundo hay una innegable continuidad.

A partir del siglo XII, además, algunos teólogos habían comprendido que su monopolio estaba amenazado. Si se empezaba a interpretar la Biblia «según la física», si se instauraba un saber «racional», si se definía la naturaleza como una «concatenación de causas» *(causarum series)* ¿hasta dónde podría llegarse? No sólo se eliminarían los milagros, en tanto que rupturas del orden natural, sino que se acabaría por olvidar que la naturaleza en su conjunto se identificaba con la voluntad de Dios. Así se explica que Guillaume de Saint-Thierry, defensor de la cultura monástica tradicional, escribiese a Bernard de Clairvaux para denunciar vigorosamente «los errores de Guillaume de Conches». Lo que le reprocha, es el razonar como un físico, como un filosófo; y el haber osado decir que «el cuerpo humano no había sido hecho por Dios sino por la naturaleza»... Esta forma de razonar, en opinión de Guillaume de Saint-Thierry, se parecía mucho a la de «ciertos filósofos estúpidos» que creen únicamente en la existencia de la materia, y para los que «no hay más Dios en el mundo que los elementos y el sistema de la naturaleza». El peligro era, pues, evidente: a fuerza de interesarse en la naturaleza y en su funcionamiento físico se corría el riesgo de que naciera una ciencia profana que concurriría (y cabe que con ventaja) con la enseñanza propiamente religiosa.

Guillaume de Conches y los demás chartresianos, a decir verdad, no querían de ninguna manera dañar la autoridad de la religión; únicamente sostenían que junto con las exégesis y comentarios bíblicos tradicionales, había lugar para otra aproximación más «científica». En el plano cultural era mucho lo puesto en juego: se comprende perfectamente que se suscitaran resistencias. Desde el punto de vista epistemológico, en todo caso, la aportación de los «racionalistas» no era grano de anís; definían a la naturaleza de tal manera que la investigación de las relaciones entre causas y efectos era posible; no sólo abordaban todos los grandes problemas de la dialéctica deductiva e inductiva, sino que también preconizaban el empleo de las matemáticas en física y llevaban muy lejos la reflexión sobre el estado de los conocimientos así obtenidos.

Guillaume de Conches, por ejemplo, distinguía entre la filosofía, que se esfuerza en demostrar proposiciones *necesarias*, y la física, que se contenta con proponer opiniones *probables* (es decir, lo que nosotros llamaríamos hipótesis).(12) Nada es menos ingenuo, en este sentido, que la epistemología de estos pensadores medievales. No resolvieron todas las cuestiones, es evidente. Pero, a propósito de las relaciones entre las matemáticas y la física y de muchos otros problemas, supieron realizar análisis que en ocasiones fueron muy refinados.



Como los astrónomos modernos, los medievales intentaron describir el cielo y los movimientos de los astros. Pero, junto a los intereses propiamente astronómicos había otros de carácter astrológico, que los científicos actuales juzgarían muy cuestionables. A pesar de que los pensadores medievales habían hecho a menudo la distinción entre «astronomía» y «astrología», la situación seguía siendo confusa. La idea de que los astros pueden ejercer influencia sobre la Tierra era admitida corrientemente (y además se fundaba en observaciones muy simples: ciclo de las estaciones, variación del clima, mareas, etc.); sobre esta base era fácil llegar a una concepción filosófica más amplia, según la cual la vida humana dependía del firmamento. Es el tema de la unión entre el *macrocosmos* y el *microcosmos:* el hombre es un «pequeño mundo» estrechamente integrado en el «gran mundo» (es decir, el conjunto del sistema constituido por la Tierra y los astros). Durante el siglo XII, esta creencia se expresó con gran vigor, pues aun la Iglesia se le mostró menos hostil. Los médicos, en particular, recurrían a la astrología para curar a sus clientes. El hecho interesante es que las necesidades de la técnica astrológica estimularon algunas investigaciones de orden astronómico (medida del tiempo, medida de la posición de los planetas, etc.). (*Las constelaciones*, según Aratos, quien vivió en el siglo III. Manuscrito que data aproximadamente del año 1000. Foto Giraudon.)

(12) Véase, por ejemplo, P. Duhem, *Le système du monde*, ya citado, tomo III, pág. 99.

Insuficiencia de bases experimentales

Los medievales de que hablamos no se contentaron con discurrir sobre lo que habría que hacer; intentaron formular amplios esquemas explicativos. Mencionemos, por ejemplo, un texto anónimo sobre *los elementos* escrito entre 1150 y 1175.(13) El autor, utilizando a la vez el lenguaje de la teoría de los cuatro elementos y el del atomismo, definió la naturaleza como «un principio de movimiento» cuya existencia es eterna. Se hace patente un cierto eclecticismo, puesto que este autor recurre no sólo a Platón y a Aristóteles, sino también a otras fuentes antiguas. Sin embargo, como señala el historiador Richard Dales, la síntesis propuesta es interesantemente audaz y coherente. Muestra que, desde esta época, algunos ánimos originales estaban prestos a lanzarse a un trabajo teórico correspondiente a preocupaciones «científicas».

Como hemos visto, el acento se ponía en la necesidad de recurrir a «la razón». Pero, para hacer ciencia en el sentido moderno de la palabra ¡no basta con tener convicciones racionalistas! Preciso es también confrontar las hipótesis con «los hechos»; en resumen, es necesario llegar a la idea de ciencia *experimental,* lo cual implica recurrir sistemáticamente a pruebas rigurosas y en principio repetibles. La idea de un conocimiento basado en la experimentación no se ignoraba; gracias a traducciones realizadas a finales del siglo XI, por ejemplo, se conocía la distinción hecha por el médico griego Galeno (siglo II) entre la *via experimenti* y la *via rationis,* entre la vía experimental y la vía del razonamiento. Diversos intereses prácticos, además, condujeron a reconocer la necesidad de consultar los hechos en (cálculo del calendario, medicina, química, etc.). Pero a menudo, los autores del siglo XII, el recurso al experimento se limita a constataciones muy simples tomadas de la vida corriente. En el sentido estricto de la palabra no había «experimentación».

Seguramente esto se debía, por una parte, a la insuficiencia de recursos técnicos, pero también a una cierta desconfianza en el uso de los sentidos. Adélard de Bath admiraba a Platón; este último, justamente, prefería la vía del razonamiento a la vía de la experimentación... Esto no impedía a Adélard otorgar explícitamente un papel importante al conocimiento sensible, y lamentar que no se pudiera «¡distinguir con el ojo los minúsculos átomos!». Pero hay que reconocerlo: había un desequilibrio que favorecía la especulación a expensas del realismo experimental. Incluso los autores más partidarios de recurrir a la experimentación lo tenían difícil para poder llegar a ella. Veamos cómo el historiador Paul Tannery define la situación de Hugo Physicus, quien escribió en el siglo XII una *Pratique de la géométrie:* «reconoce que hay que experimentar, pero no sabe cómo hacerlo, o sólo piensa en experimentos imposibles».(14)

¿Cómo explicar el Renacimiento del siglo XII?

Para acabar, y a pesar de que el tema es demasiado amplio para ser tratado aquí en toda su complejidad, arriesguémonos a plantear la siguiente cuestión: ¿Cómo explicar, históricamente, la especie de mutación que hemos observado en el terreno del conocimiento? Es fácil, a primera vista, formular ciertas respuestas parciales. Se puede admitir, por ejemplo, que la reconquista de algunas regiones ocupadas por los árabes hizo posible la realización de las numerosas traducciones de las que hemos hablado. Pero una consideración de este tipo no nos llevaría muy lejos. Ya que reconquistar Toledo fue una cosa, y el entusiasmo de los traductores otra... Los grandes centros de traducción, además, no fueron los lugares privilegiados de la renovación del pensamiento filosófico. Si se quiere entender la nueva percepción de la naturaleza, que se manifestó en el arte y en el pensamiento de esta época, se impone ciertamente ampliar las perspectivas.

A partir del siglo X, en efecto, se dio en Occidente un desarrollo demográfico, un neto crecimiento económico y un importante desarrollo de los centros urbanos. Muchos historiadores, guardándose de caer en interpretaciones socioeconómicas simplistas, han tenido en cuenta esta evolución general, para interpretar ciertas innovaciones. Está claro, por ejemplo, que eran necesarias nuevas condiciones materiales y culturales para que pudieran nacer las universidades. Las ciudades constituían medios más abiertos que los monasterios; estimulaban nuevas curiosidades y llevaron a una nueva división del trabajo. De esta manera apareció el universitario, trabajador intelectual de un nuevo género. Citemos a Jacques Le Goff: «Este tipo de intelectual únicamente ha podido desarrollarse en un marco urbano». Pero, sin lugar a dudas, todavía hay que precisar más. En el siglo XII, tuvo lugar una verdadera «desacralización de la naturaleza». Esto significaba que los hombres, en lugar de inclinarse ante los oscuros poderes de la naturaleza, estaban dispuestos a adoptar una actitud mucho más agresiva, dominadora. Esta actitud prosperó, ciertamente, con Descartes, quien expresó que los hombres se convierten «en maestros y poseedores de la naturaleza». Pero esto ya se había puesto de manifiesto en el siglo XII. El testimonio del Padre Chenu, historiador de la teología, es a este respecto muy interesante. El desarrollo de las técnicas, dice, ha desempeñado un papel en verdad principal en la aparición de una nueva mentalidad, de una nueva actitud ante el universo y las cosas. «*La aparición de técnicas es la señal y el medio para un verdadero descubrimiento, un descubrimiento activo de la naturaleza, al mismo tiempo que el hombre se revela de alguna manera a sí mismo. (...) A favor de la rotura del feudalismo y de su exclusivismo, a favor de la emancipación económica y política de los artesanos urbanos, organizados en corporaciones, a favor de una circulación activa de los bienes y de las personas en una economía de mercado, la puesta en marcha y la extensión de nuevas técnicas modificaron profundamente no sólo la vida material sino también, en la vida espiritual, ciertos modos de percepción, de sensibilidad y de representación.*»(15)

Un universo cada vez más mecanizado

Olvidamos a menudo que «*la Edad Media ha sido uno de los periodos más grandes de progreso técnico en toda la historia*».(16) No acabaríamos de citar las técnicas puestas en acción en Occidente, a gran escala, a partir del año 600. Mencionaré únicamente el estribo, el cabestro para las caballerías, el arado pesado (en lugar de la reja), los cultivos trienales, el molino de agua y, más tardíamente, el molino de viento; concretamente, el resultado fue que la producción agrícola quedó netamente acrecentada y que en muchos oficios, las nuevas fuentes de energía hacían posible la utilización de *máquinas* cada vez más numerosas. En este terreno al igual que en otros, cabe que los medievalistas se hayan excedido al hablar de «revolución técnica», de «revolución agrícola», de «revolución industrial». Pero los hechos parecen bien claros. Un documento de 1086 revela un censo de 5 624 molinos de agua en tres mil comunidades inglesas; y todavía es posible que la cifra sea demasiado baja... Incluso los campesinos poseían máquinas. Ello no era sorprendente, puesto que había cambiado la mentalidad: «*el hombre dejó de ser el niño de la naturaleza; se puso a explotarla*».(17) Se comprende igualmente que en el terreno de la reflexión filosófica esta evolución haya tenido repercusiones más o menos directas. La naturaleza, una vez desacralizada, adquiría la condición de «realidad objetiva», susceptible de ser estudiada por sí misma según el juego de las causas y los efectos.

(13) Véase la obra, ya citada, de R.C. Dales, pág. 51 y siguientes.
(14) Citado por A.C. Crombie, *Robert Grosseteste and the origins of experimental science,* 1100-1700. Clarendon Press (Oxford), 1971 (primera edición: 1953), pág. 24.
(15) M.D. Chenu, O.P., *La tecnologie au XIIe siècle,* tercera edición, Vrin, 1976, pág. 45. El padre Chenu se refiere a Lewis Munford. Muchos otros autores han desarrollado este tema.
(16) D.S.L. Cardwell, *Technology, science and history.* Heinemann, 1972, pág 4. Al lado de las técnicas medievales, declara Cardwell, las de los griegos y las de los romanos parecen insignificantes.
(17) L. White Jr., *Medieval religion and technology,* ya citada, pág. 145.

Las artes mecánicas desde la antigüedad eran tradicionalmente ignoradas o despreciadas por la élite intelectual.

Desde esta perspectiva, hay que destacar que muchos pensadores del siglo XII intentaron aproximar teoría y práctica. Así, Hugues de Saint-Victor, en su *Didascalicon,* deplora que las «artes mecánicas» no sean tomadas en consideración por los filósofos. Las artes mecánicas, en contraste con las artes liberales, comprendían diversas actividades prácticas: técnicas de forja y de construcción, textiles, de navegación, de agricultura, etc. Desde la Antigüedad eran tradicionalmente ignoradas o despreciadas por la élite intelectual; puesto que un hombre libre, se pensaba, no debe trabajar con sus manos. Había algunas excepciones; ciertas órdenes religiosas, por ejemplo, apreciaban el trabajo manual. Pero, intentando integrar las artes mecánicas a la enseñanza superior, Hugues de Saint-Victor dio pruebas de osadía. Su proyecto, además, no se terminó. Se diría que el «redescubrimiento» de los griegos se había hecho para algo: reforzaba el desdén del clérigo por el artesano.[18] Culturalmente, las tentativas destinadas a revalorizar las técnicas no dejan de ser notables; confirman que el Occidente estaba presto (o casi presto...) a dar a su saber una base «experimental».

Sin embargo, estas consideraciones sobre el papel de las artes mecánicas no deberían hacernos olvidar otros factores. Lynn White Jr. destaca, por ejemplo, que el cristianismo, como doctrina, propagó ciertamente en el conjunto de la sociedad una nueva idea de la naturaleza. Dios era el creador del mundo; y había que guardarse de atribuir a «la naturaleza» poderes que eran propios de un Dios todopoderoso. En cuanto a los hombres, tenían vocación de dominar su entorno natural. Extendiéndose en la población, tales ideas contribuirían a eliminar progresivamente las viejas creencias animistas; incluso en los campesinos, la actitud ante la naturaleza se modificó en el sentido de lo que podríamos llamar el realismo operatorio.

Ésta y otras cuestiones son y seguirán siendo objeto de debate entre los historiadores. Convenzámonos: se descubrirán nuevos documentos, nuevas «fuentes», nuevas corrientes de pensamiento, nuevos aspectos de la actividad práctica. Se comprenderá mejor, en particular, el papel desempeñado por la magia, la alquimia y la astrología. Hoy día, en todo caso, parece legítimo hablar de un «renacimiento» (o incluso de una «revolución») del siglo XII. Con la condición, evidentemente, de que no se dé a estas expresiones un sentido demasiado rígido, como si el Occidente, súbita y totalmente hubiera entrado en la modernidad... Durante mucho tiempo después de Guillaume de Conches, de Adélard de Bath y de Hugues de Saint-Victor prosiguió el difícil diálogo entre dos tendencias: una que privilegia la investigación espiritual —la búsqueda del sentido— y otra que defiende el estudio racional y positivo de la naturaleza. Pero, en este largo proceso se puede distinguir épocas importantes, momento en los que cristalizan ideas decisivas. El siglo XII, con toda seguridad, fue uno de ellos. ■

(18) Platón recurre a menudo a metáforas copiadas de los artesanos. Éstos, no constituyen socioculturalmente una categoría «inferior». Habrá que esperar mucho tiempo para que se opere una verdadera colaboración entre las manos y el cerebro...

Para más información:

A pesar de que el pensamiento científico de la Edad Media parece estar poco divulgado, la bibliografía es abundante. Además de las obras citadas en las notas de P. Duhem, E. Gilson, M.D. Chenu, J. Le Goff, A.C. Crombie, E. Grant, R.C. Dales y L. White Jr., será útil consultar:

■ L. Thorndike, *A history of magic and experimental science.* 8 vols., Columbia University Press, 1923-1958 (el siglo XII se estudia en el volumen II).

■ C.H. Haskins, *The Renaissance of the twelth century.* Harvard University press. 1928.

■ J.E. Murdoch, E.D. Sylla (eds.), *The cultural context of medieval learning.* Reidel, 1975 (en particular las contribuciones respectivas de R. McKeon y T. Gregory: «La nueva idea de naturaleza y de saber científico en el siglo XII»).

■ E. Grant (ed.), *A source book in medieval science.* Harvard University Press. 1974.

■ T. Stiefel, «The heresy of science: a twelth-century conceptual revolution». *Isis,* 68, págs. 346-362, sep. 1977.

■ J. Le Goff. *La Civilisation de l'occident medieval,* Arthaud, 1964 R. Delort, *La vie au Moyen Age,* 3.ª ed., Edita-Seuil, 1982.

■ R. Taton. (bajo la dirección de—) *Historia general de las ciencias* Ed. Destino, Barcelona. Tomo I: *La ciencia antigua y medieval* (el artículo sobre la ciencia en el Occidente medieval cristiano es de G. Beaujouan).

■ L. White Jr., *Medieval technology and social change.* Oxford University Press. 1970 (1.ª edición: 1962).

■ M. Daumas (bajo la dirección de—) *Historie générale des techniques.* Tomo I. *Les origines de la civilisation technique,* PUF, 1962.

■ B. Gille (bajo la dirección de—), *Histoire des techniques,* Gallimard, 1978.

■ J. Gimpel, *Le revolution industrielle du Moyen Age.* Seuil, 1975.

■ R.S., López, *The commercial revolution of the middle Ages, 950-1350* Cambridge University Press, 1976.

■ J. Paul, *Histoire intellectuelle de l'Occident médiéval,* Armand Colin, 1973.

■ J. Verger, *Les universités au Moyen Age,* PUF, 1973.

■ E. Peters, *The magician, the witch and the law.* The Harvester Press, 1978.

Páginas 1060 y1063 con publicidad

La mejora genética del café

por André Charrier

André Charrier,
maître de recherches del INRA, es responsable del laboratorio de genética del ORSTOM en Costa de Marfil; se ha especializado en el estudio de los recursos genéticos de las plantas tropicales.

El uso del café es con toda seguridad muy antiguo, pero no fue conocido en Europa sino a partir del siglo XVII, cuando se convirtió rápidamente en bebida popular. Actualmente existen dos grandes categorías de café: el *Arabica*, difundido a partir del Yemen y que alcanza su mayor extensión en América del Sur; y el *Robusta*, que se ha impuesto en África y Asia durante los cincuenta últimos años.

La mejora genética de los cafetos tiene por objeto el incremento de la producción y de la calidad del café, pero también hacer posible su recolección mecánica y la selección de cafetos que produzcan un café menos cargado de cafeína. Todo ello implica el cruzamiento de especies diferentes. Pero la falta de variabilidad de los cafetos cultivados ha motivado la intensificación de la prospección de formas salvajes. La creación de colecciones de plantas vivientes permite enriquecer el «pool genético» y asegurar su conservación.

A

C



Figura 1. Se consumen dos grandes tipos de café, el Arábica y el Robusta, fácilmente reconocibles. El café Arábica procede de los cafetos de la especie *C. arabica* cultivados a cierta altitud en países tropicales húmedos de clima contrastado. La variedad mutante «Caturra» de entrenudos cortos representada aquí (A), se caracteriza por su talla reducida y su forma rechoncha que hace posible su implantación en densidades elevadas, lo que conduce a un incremento de la producción por unidad de superficie. El café Robusta es producido por cafetos que pertenecen a la especie *C. canephora* (B). Estos están bien adaptados a las zonas tropicales húmedas de baja altitud y son tolerantes de las principales enfermedades. Estos cafetos rústicos alcanzan un potencial elevado de producción. La hibridación interespecífica permite crear nuevos tipos de cafetos seleccionados. Por ejemplo, el valor cualitativo del café Robusta ha podido ser mejorado bien por cruzamientos con *C. congensis* (híbridos Congusta), (C), bien con *C. arabica* (híbridos Arabusta) (D). (Fotos ORSTOM.)

El empleo del café como bebida no fue conocido en Europa hasta el siglo XVII, cuando se impuso rápidamente por su aroma, su efecto estimulante y por el placer de su degustación. Debido a la introducción del cafeto de Arabia en las Antillas, en 1723, el Arábica fue el único tipo de café producido, sobre todo en América, durante los siglos XVIII y XIX. No es hasta 1900 cuando una decena de otras especies del género *Coffea* fueron puestas en cultivo en África y Java; los cafetos silvestres pertenecientes a la especie *C. canephora* se impusieron, en particular la variedad Robusta, que dio su nombre al café producido. La preparación y las características de estas dos grandes categorías de café —la Arábica y la Robusta— son conocidas por todos (figs. 1 y 2, cuadro 1).

El café, primer producto agrícola de exportación, ocupa en la actualidad el segundo lugar del comercio mundial, detrás del petróleo. La producción mundial, compuesta en un 70 % de café Arábica, supera 4 millones de toneladas, habiéndose quintuplicado durante el curso de este último siglo. Los países productores se encuentran en la zona intertropical húmeda, y los principales consumidores son los países industrializados occidentales (fig. 3). El impulso en la producción del café desde 1900 y la importancia económica de este producto para un buen número de países han contribuido ampliamente al desarrollo de las investigaciones. De forma particular, la mejora de las variedades de los cafetos cultivados, para su adaptación a los medios y a las necesidades de sus cultivadores, ocupa una posición privilegiada en relación con los progresos realizados y esperados en los campos de la genética y la agronomía. A título de ejemplo, el potencial de producción de las cepas seleccionadas de *C. canephora* cultivadas en África alcanza actualmente de 2 a 3 toneladas de café comercial por hectárea, o sea de cinco a diez veces la media de las explotaciones agrícolas tradicionales.

D



Criterios de selección

La selección de los cafetos tiene como principal objetivo el incremento de la producción de café y su mejora cualitativa, en condiciones económicamente rentables. Se trata en todos los casos de crear variedades que posean un fuerte potencial de producción, junto con una buena adaptación a medios de cultivo variados y un satisfactorio nivel de tolerancia a las enfermedades y a los parásitos locales. De hecho, los criterios de selección y su jerarquización evolucionan con el curso del tiempo y cambian según los países y las especies cultivadas. Por ejemplo, la principal preocupación de los seleccionadores de *C. arabica* en América es ahora la creación de variedades resistentes a un hongo parásito, *Hemileia vastatrix*, responsable de la roya anaranjada (o tizón del cafeto) desde la aparición de esta enfermedad en Brasil en 1970. Sin embargo, ésta ya existía con anterioridad en otras áreas de cultivo, como África del Este, India, Angola, donde ya había sido objeto de investigación. En Kenia, después de haber concedido prioridad a la selección de variedades resistentes a este hongo, los investigadores debieron atender a una enfermedad mucho más grave, la antracnosis de las bayas, causada por *Colletotrichum coffeanum*, hoy en plena expansión en África del Este y del Centro.

Por lo que hace a la adaptación a las condiciones del medio cabe citar la búsqueda de variedades de *C. arabica* tolerantes al frío, tras la destrucción por el hielo de los cafetales de los estados del sur del Brasil, en julio de 1975. En otras situaciones, como en el límite de las zo-

Del Yemen a América, el Arabica se dispersa por el mundo. El Robusta se impone en Asia y África.

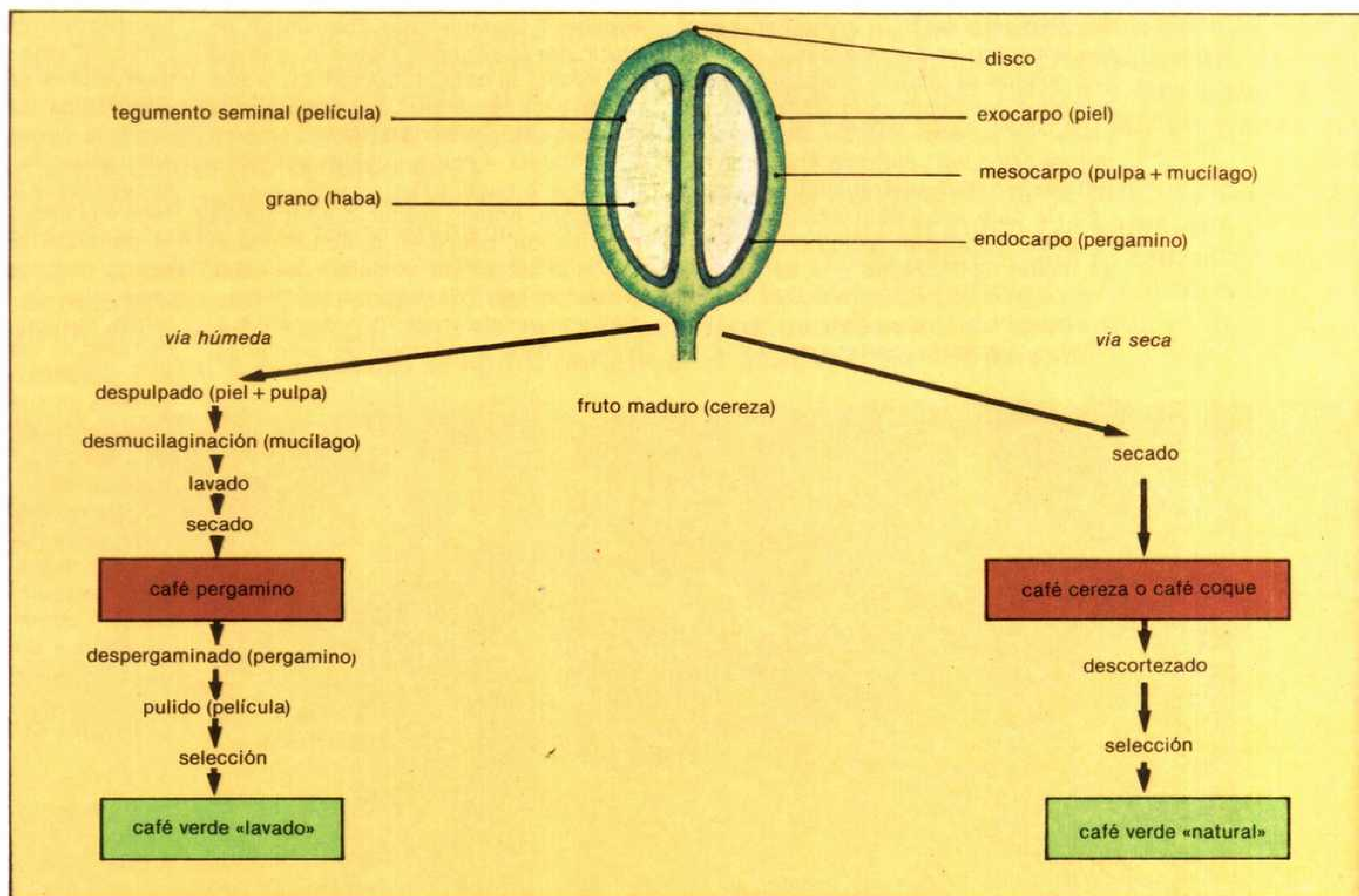


Figura 2. **Los frutos de los cafetos recogidos en su madurez deben sufrir una serie de manipulaciones a fin de eliminar las cubiertas del grano para obtener el café verde exportado. Su preparación se realiza ya por tratamiento de los frutos frescos (vía húmeda) ya por secado directo de los frutos (vía seca). El largo tratamiento del café por vía húmeda está reservado a los cafés Arábica seleccionados, producidos en América central o en Colombia, calificados de «milds» (suaves) y a otros Arábica más corrientes llamados «lavados». La técnica rápida de preparación por vía seca aplicada a la mayor parte de los Arábica brasileños y a la mayoría de los Robusta africanos proporciona un café calificado «natural».**

1. Arabica y Robusta: preparación y características

■ Los granos de los cafetos recogidos maduros sufren en las mismas zonas de producción una serie de operaciones tecnológicas que conducen al café comercial o café verde (fig. 2).

Es fácil identificar el café verde obtenido de las dos especies principales de cafetos cultivados. Los granos de *C. arabica* son más grandes, más alargados (de 8 a 12 mm), con un surco medial algo tortuoso y que retiene fragmentos del tegumento o película. Los granos de *C. canephora* son más pequeños (de 5 a 8 mm), de forma redondeada y con el surco central más rectilíneo. Además hay unos granos globulosos llamados «Caracolis», procedentes del desarrollo de un solo grano por fruto, que se producen en mayor proporción en los Robusta (hasta el 20-30 %).

Las cualidades aromáticas y gustativas del café no aparecen sino por la acción de las temperaturas elevadas a que es sometido durante la torrefacción llamada «quemado» o «tostado», realizada en general entre 210 y 230 °C. Durante este tratamiento térmico se desarrollan una multitud de reacciones que interaccionan debido a la alta reactividad de las sustancias formadas. En especial, la reacción de oscurecimiento no enzimático (reacción de Maillard) y las degradaciones de aminoácidos (degradación de Strecker). La complejidad del aroma del café es extrema, se han descrito más de 500 componentes: en particular, hay que subrayar la presencia de numerosos derivados furánicos y de compuestos heterocíclicos nitrogenados y sulfurados. Hay un gran número de trabajos de investigación europeos sobre las transformaciones químicas generadas por la torrefacción; los últimos coloquios internacionales organizados por la Asociación Científica Internacional del Café (ASIC) han tratado extensamente este tema. En la Universidad Técnica de Berlín, G. Hermann y W. Baltes han elaborado incluso reacciones modelo con mezclas de glúcidos y aminoácidos que permiten obtener por vía química tipos aromáticos próximos a los del café.

El equilibrio del complejo aromático del café tostado es bastante precario. Su comportamiento en el curso del almacenamiento es objeto de investigaciones a fin de elegir los sistemas de embalado adecuados y para definir las condiciones óptimas de utilización del café. *In fine*, la calidad del café-bebida depende por supuesto del tipo de café verde empleado y de su torrefacción, pero también de la preparación de la taza de café: finura de la molturación; cantidad, calidad y temperatura del agua utilizada; tipo de cafetera etc.

Se han desarrollado otras presentaciones de café, como los cafés solubles o instantáneos y el café descafeinado. El café soluble es preparado mediante la serie de operaciones unitarias siguientes: torrefacción, extracción del agua y concentración del café, secado por atomización en el interior de una corriente de aire caliente o por liofilización. El uso del café soluble está considerablemente extendido, especialmente en Estados Unidos, debido a la facilidad y rapidez de la preparación de una taza de café por simple disolución de aquél en el agua. Este éxito está ligado también a la mejora de la calidad de los cafés instantáneos debido a los progresos técnicos de fabricación (liofilización) y a la aplicación de este proceso al café Arábica, cuando inicialmente estaba reservado al café Robusta.

El café descafeinado responde a las necesidades de un porcentaje de consumidores de deberían suspender o limitar su ingestión por razones médicas. El café descafeinado es preparado por extracción de la cafeína contenida en el café verde sea mediante un disolvente clorado (cloruro de metileno) sea mediante agua. Este café es seguidamente tostado y contiene menos del 0,1 % en peso de cafeína. La cafeína extraída del café es un subproducto explotado en farmacia, que satisface la mitad de las necesidades farmacéuticas en cafeína de Estados Unidos; la otra mitad procede de la síntesis química.

País consumidor (> 3 kg café/año/per capita)
zonas de producción

Figura 3. **Los países productores de café se encuentran en la zona intertropical húmeda. El café Arábica (70 % de la producción mundial) es producido esencialmente en América. Brasil con un 1/4 de la producción, domina el mercado. África, que produce la mayor parte del café Robusta, figura como contendiente serio (30 % de la producción mundial), con un empuje espectacular desde principios de siglo XX. La producción del Sur de Asia es inferior al 10 % del total. Los principales países consumidores de café son los industrializados: Estados Unidos, Canadá, la Comunidad Europea y los países escandinavos. Su consumo anual *per capita* se estima de 3 a 13 kg por año. Es de destacar también el aumento reciente del consumo de café en Japón. El consumo propio de los países productores permanece estable y modesto, con excepción de Etiopía, Colombia y Venezuela. Estados Unidos consume tanto café como todos los países productores juntos.**
La producción y el consumo de café se equilibran en promedio; sin embargo, se trata de un mercado «en tensión», marcado por las variaciones estacionales. Todos los imprevistos climáticos y parasitarios, como las heladas y la extensión de la roya anaranjada en Brasil, han provocado variaciones importantes en las cotizaciones. Todo el mundo recuerda la elevación de los precios del café en la primavera de 1977 consiguiente a las heladas brasileñas de julio de 1975. El mercado del café, que pone en juego las relaciones económicas y comerciales de los países industrializados consumidores con los países en desarrollo productores, para los que el café es muy a menudo su principal producto de exportación, está reglamentado desde 1962 por un acuerdo internacional.

nas de selva y de sabana en Costa de Marfil, se seleccionan nuevas cepas de *C. canephora* susceptibles de soportar una larga estación seca. Pero en el caso de esta última especie, no se puede retrasar por más tiempo la mejora cualitativa de la variedad robusta conforme a los criterios de selección siguientes: aumentar el tamaño de los granos, evaluar el valor organoléptico y reducir la proporción de cafeína. Finalmente, hay que señalar un nuevo objetivo de la caficultura: la recogida mecánica. Por primera vez en Brasil, en 1979, se ha utilizado una máquina cosechadora para paliar la penuria de mano de obra necesaria para la recolección manual. El seleccionador debe prever ya la adaptación de esta nueva técnica con respecto al tamaño y arquitectura de los cafetos, su maduración simultánea, la longitud y la resistencia de la sujeción del fruto, etcétera.

¿Cómo alcanzar los objetivos de la mejora de los cafetos mencionados antes con el material biológico de que disponemos? No pretendo responder a esta pregunta mediante la descripción de las técnicas de selección; quisiera más bien resituar la mejora de los cafetos en su contexto histórico e ilustrar con ejemplos escogidos las investigaciones en curso, ejemplos que a menudo deberá tomar de la investigación científica francesa, representada por la Office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer (ORSTOM) y el Institut français du café et du cacao (IFCC). Estos dos organismos participan conjuntamente en el desarrollo de las investigaciones sobre el café, principalmente en África, y ocupan un puesto internacional reconocido en el estudio de la genética de los cafetos, herencia de un interés constante de la comunidad científica francesa por el café.

Del Yemen a América: la expansión del Arábica

Recordemos para empezar cuáles son los orígenes y los modos de diseminación de los cafetos cultivados en el mundo. La especie *C. arabica* es un componente natural del sotobosque de la forestación de altura (1 300 a 2 000 m) del suroeste de Etiopía, del sur del Sudán y del norte de Kenia. Esta especie fue impropiamente denominada por Linneo al darle por nombre Arabia, país de origen de la muestra examinada. Tradicionalmente, en una ceremonia ritual de la tribu Galla, el fruto entero torrefacto sirve de base para la preparación de una mixtura utilizada para la unción y como bebida.[1] En el suroeste de Etiopía, en 1966, Guillaumet y Halle observaron las prácticas de cultivo locales, que consistían ya en aclarar el bosque en torno de los cafetos espontáneos ya en

(1) D. Lemordant. *J. Agric. Trop. Bot. Appl.* *18*, 142, 1971.

Buscar formas salvajes y crear colecciones para aumentar la diversidad genética.

2. Las colecciones de cafetos

■ Todos los centros de investigación sobre el café han creado sus propias colecciones de trabajo que responden a los objetivos inmediatos de la selección de *C. arabica* y de *C. canephora*. Estas colecciones están compuestas de cepas más o menos seleccionadas procedentes de la prospección de las plantaciones locales y de aportaciones de otros centros experimentales o de jardines botánicos. Las otras especies de cafetos tienen una representación muy limitada.

Desde 1960, la prospección de formas salvajes y cultivadas de cafetos ha sido reemprendida por la FAO y los organismos franceses de investigación (IFCC, ORSTOM y el Muséum) en los países siguientes: Etiopía, región malgache, Kenia, Costa del Marfil, República Centroafricana y Tanzania. Estas colectas han permitido crear en Africa un número limitado de colecciones especializadas: *C. arabica*, casi exclusivamente en Africa del Este; cafetos sin cafeína, en Madagascar; una docena de especies espontáneas africanas, en Costa de Marfil. Los géneros próximos, *Psilanthus* y *Paracoffea* también han sido coleccionados.

Los cafetos espontáneos viven en las formaciones forestales poco o no pertubadas de Africa intertropical, pero probablemente por un tiempo contado. En efecto, desde hace unos veinte años, la acción conjunta de la demografía, del tipo de agricultura tradicional, de los grandes proyectos de desarrollo y de los medios de explotación forestal conlleva una aceleración de la deforestación. Por ejemplo, en Costa de Marfil se estima que anualmente se destruyen 500 000 ha de selva. Las reservas forestales íntegras serían, por supuesto, el mejor sistema de conservación, ya que mantendrían el potencial evolutivo de las poblaciones naturales.

Sin embargo, la preservación de las especies más amenazadas puede lograrse mediante su introducción en las colecciones. Esta técnica de conservación *ex situ* de los cafetos asegura el mantenimiento de diversos genotipos introducidos si se aportan atentos cuidados para su protección. La variabilidad genética almacenada en estas colecciones está fuertemente marcada por el muestreo inicial, el tipo de multiplicación, la estructura de las poblaciones naturales y el sistema de reproducción. Resumiendo, los problemas prácticos planteados por las colecciones de cafetos son los siguientes: se trata de arbustos o de árboles, una colección viva de cafetos ocupa varias hectáreas de terreno. El mantenimiento de la integridad genética durante largo plazo es factible debido a la duración de su vida (20-50 años) y a las posibilidades de multiplicación vegetativa.

De hecho, los riesgos de erosión genética en las colecciones dependen principalmente de la adaptación de las distintas procedencias y de los cuidados que se les dispensen. Así, con las colecciones de base, puestas bajo la responsabilidad de los investigadores del ORSTOM, en Costa de Marfil, se toman las siguientes precauciones: implantación en dos áreas favorables, una para las especies de altitud (a 1100 m en el Mont Tonkoui en Man), la otra para las especies llamadas de «baja altitud» (Divo); plantación en el sotobosque de un bosque adaptado o bajo umbráculos artificiales; injerto de las especies poco vigorosas, como *C. congensis*, sobre portainjertos de *C. canephora* adaptado a las condiciones locales.

Visto el elevado costo de estas operaciones parece oportuno interesarse en otras técnicas de conservación de los recursos genéticos. Los resultados experimentales adquiridos hasta ahora en el campo del almacenamiento de larga duración de las semillas, del polen y del cultivo *in vitro* no permiten aún su aplicación con toda seguridad a los cafetos.

A





(3) J.F. Leroy, *C.R. Acad. Sci. Paris, 291*, 593, 1980.



Figura 4. **La falta de variabilidad de los cafetos cultivados ha llevado a una intensificación de la exploración de las formas salvajes. Es principalmente en el África intertropical donde se encuentran las poblaciones de cafetos en las selvas climácicas. Investigadores del Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, como A. Charrier, R. Porteres y J.F. Leroy(3) han contribuido ampliamente a establecer la sistemática de los cafetos. Éstos pertenecen al género *Coffea*, familia Rubiáceas, y comprenden una veintena de especies originarias de África y unas cincuenta de la región malgache. La importante diversidad de los cafetos y sus adaptaciones quedan ilustradas en estas fotos:** (A) ***C. arabica*, originaria del monte Marsabit (Kenia) a 1 800 m de altitud;** (B) ***C. liberica*, de grandes frutos, llamada Gros Indénié en Costa de Marfil;** (C) ***C. humilis*, cafeto umbrófilo de pequeña talla, originario del Suroeste de la Costa de Marfil;** (D) ***C. racemosa*, cafeto de Mozambique, tolerante a la sequía y que pierde sus hojas durante la estación seca, antes de florecer;** (E) ***C. heimii*, cafeto de hojas coriáceas y gruesas que crece en las selvas secas del Norte de Madagascar;** (F) ***C. eugenioides*, cafeto de altitud de Kenia, implantado en la colección del monte Tonkoui, en Costa de Marfil; el «pool» genético de los cafetos se extiende a otros géneros emparentados, como el *Psilanthus mannii*, de frutos múltiples y sépalos persistentes.** (Fotos ORSTOM.)

Un objetivo: cultivar especies que contengan menos cafeína.

trasplantarlos a las inmediaciones del poblado a fin de incrementar su potencial de producción.

De hecho, el centro sudano-etiópico de la diversidad genética del cafeto de Arabia no ha sido formalmente reconocido hasta hace poco, ya que la expansión mundial de su cultivo en el siglo XVIII fue realizada con los cafetos del Yemen, verdadero centro de diseminación. Subsisten aún un buen número de dudas en cuanto a las circunstancias de la transferencia del núcleo fundador al Yemen, procedente de Etiopía, sea por las relaciones comerciales establecidas desde antiguo en las riberas del Golfo de Adén sea durante las conquistas etiópicas en Arabia hacia el siglo VI de nuestra era.[1,2]

Por contra, las peripecias de esta diseminación a partir del núcleo yemenita han sido relatadas numerosas veces. A finales del siglo XVII el cafeto de Arabia fue introducido en Ceilán y después de Indonesia por la Compañía de las Indias Orientales. De Java fue seguidamente enviado a las Antillas, en 1723, a partir de un pie único que sobrevivió a un cultivo en invernáculo en el jardín de Amsterdam y después en el del rey Louis XIV. Una segunda variedad yemenita procedente del puerto de Moka fue introducida entre 1708 y 1718 en la isla Bourbon (La Reunión). Una vez más fue la descendencia de un solo cafeto la transferida a América, el tipo Bourbon. Estas dos muestras de *C. arabica*, de origen respectivo bien identificado, conquistaron la mayoría de los estados de América del Sur y Central en el curso del siglo XVIII.

De igual modo, los países de África del Este desarrollaron el cultivo de *C. arabica* con los cafetos procedentes del núcleo de Arabia: en Tanzania, a fines del siglo XIX, la Compañía Alemana del Este Africano introdujo algunas Arábicas de Indonesia, y los misioneros del Santo Espíritu llevaron la cepa Bourbon de La Reunión, siendo luego ampliamente difundida por las misiones a los países vecinos (Kenia, Burundi, Rwanda). Hay que esperar al periodo contemporáneo para conocer nuevas introducciones en América y África del Este, es[ta] vez con material del centro de diversi[dad] etiópico.

El cafeto de Arabia ha alcanzado, pues, su mayor expansión territorial en un continente nuevo, América. Dejando aparte las favorables condiciones ecológicas halladas, Purseglove[2] atribuye esta prosperidad a la reducción de los efectos parasitarios. En Etiopía, las interacciones *C. arabica* - *H. vastatrix* han culminado con el curso del tiempo en un equilibrio entre ambos protagonistas que, según Goujon[3] ha llevado al desarrollo de una resistencia genética de determinismo simple. La roya anaranjada se ha extendido desde 1869 a Ceilán, después a la India, Indochina, y África donde ha provocado una destrucción masiva de *C. arabica*. América, que se libró de este parásito hasta 1970, desarrolló su cafeicultura con toda tranquilidad. Después, el hongo alcanzó a la mayoría de los estados americanos productores de café. Hay que mencionar también la diferente agresividad de *Hemileia vastatrix* frente a *C. arabica* según el ambiente; la ecología de las regiones cafeteras de África del Este y de América es menos favorable a este parásito que las regiones tropicales húmedas de baja altitud de África y Asia.

África y Asia: Robusta se impone

Las pérdidas debidas a la roya anaranjada en las plantaciones de *C. arabica* de Ceilán y de Indonesia a finales del siglo XIX, así como las dificultades de su aclimatación en las regiones africanas de baja altitud explican la puesta en cultivo de otras especies de cafetos espontáneos de África. El cafeto de Río Núñez, que pertenece a la especie *C. stenphylla*, ha sido cultivado en Guinea-Conakry antes de 1840, así como el *C. liberica*. Esta especie era ya conocida en Sierra Leona en 1792 y en Liberia en 1841 con el nombre de «cafeto de Liberia». Los ensayos para la puesta en cultivo de cafetos espontáneos locales o introducidos fueron intensificados entre 1880 y 1900 en África e Indonesia.

Hacia 1900, no menos de diez especies de cafetos indígenas fueron descubiertos en la cuenca del río Congo por exploradores (Dybowski, Chevalier, Dewebre, Laurent) y por misioneros (Grenfell, Leroy). En 1895, Gillain cultivaba unos 500 cafetos Robusta procedentes de las riberas del río Lomani, en el Zaire. Esta cepa es la que ha suministrado el núcleo fundador de las Robusta cultivadas: algunos centenares de estas plantas, transportadas a Bélgica, fueron introducidas en Java en 1901, donde el cafeto Liberia no había dado buenos resultados. Por contra, los cafetos Robusta se impusieron de buenas a primeras



Figura 5. **La especie *C. arabica* es particularmente sensible a las enfermedades. La roya anaranjada debida a *Hemileia vastatrix*** (A) **apareció en Ceilán e Indonesia a finales del siglo XIX. Fue necesario casi un siglo y medio para que llegara a Brasil, en 1970, y se extendiera por todo el continente americano. La roya harinosa debida a *Hemileia coffeicola* fue descrita por primera vez en el Camerún, por Roger y Maublanc, en 1932, sobre *C. arabica*. Conocida únicamente en el África Central, esta segunda roya foliar también ha sido identificada en 1975 en Costa del Marfil y después en Togo. La muestra presente** (B) **ha sido recogida en las colecciones de Costa del Marfil sobre un cafeto salvaje de Kenia, *C. fadenil*. La antracnosis de las bayas causada por *Colletotrichum coffeanum* se ha extendido desde hace unos cuarenta años en África oriental y central. Esta enfermedad provoca importantes pérdidas de frutos de las variedades particularmente sensibles, como *Caturra*** (C). **Esta enfermedad comporta mermas de producción mucho más graves que las royas.** (Fotos ORSTOM.)

(2) J.W. Purseglove, en J. Harlan et al., *Origins of African plant domestication*, p. 291, 1976.
(3) J.F. Leroy, *C.R. Acad. Sci. Paris, 291*, 593, 1980.

por su rapidez de entrada en producción (tres años), su vigor, su productividad y su tolerancia a la roya anaranjada. Por otra parte, en varios países africanos, el empleo de poblaciones espontáneas locales de *C. canephora* ha permitido ampliar el número de cepas cultivadas. La aparición de nuevos parásitos de los cafetos —la escolita de los granos debido a un insecto *Stephanoderes hampei* y la traqueomicosis provocada por el hongo *Fusarium xylaroides*— consagró definitivamente la especie *C. canephora* y especialmente su variedad *Robusta* como segunda especie de cafeto cultivada.

Citaremos aún otras especies de cafetos puestas en cultivo. La *C. congensis*, descubierta por Leroy en 1892 en Rembo Nkomo en el Gabón, fue cultivada al principio por el padre Kleine, en Libreville, antes de ser distribuida por el Museo nacional de Historia Natural de París a principios de siglo, a los jardines de Buitenzorg (Java), de Ivoloina (Madagascar) y de Camayenne (Guinea). En los dos primeros países dio nacimiento, con *C. canephora*, a híbridos naturales fértiles, utilizados en plantación con el nombre de híbridos Congusta. Por último, *C. racemosa*, especie indígena de Mozambique particularmente tolerante a una larga estación seca, ha sido objeto de cultivo y recolección en este país desde siempre.

A la búsqueda de formas salvajes

Si bien ha quedado claramente establecido que el modo de dispersión de los cafetos cultivados ha limitado el número de orígenes y de individuos fundadores de plantaciones, las diferencias biológicas de las especies *C. arabica* y *C. canephora* también han contribuido al modelado de la diversidad genética explotable por los seleccionadores. Las investigaciones efectuadas en el Instituto Agronómico Brasileño del Café de Campinas desde 1932 han demostrado claramente las consecuencias del modo de reproducción predominante en *C. arabica*, la autofecundación de las flores hermafroditas de una misma planta (especie autógama), con lo cual llega a una homogeneización del contenido genético de los descendientes. De esta manera, las variedades *typica* y *bourbon* han dado lugar a líneas genéticamente fijadas y homogéneas; entre los millones de cafetos plantados desde el siglo XIX en Brasil, los investigadores no han aislado más que una treintena de «tipos distintos» en plantación. Se trata de mutantes, algunos de los cuales son conocidos como variedades: el «maragogipe» se distingue por sus granos de gran tamaño, de más de 15 mm de anchura; el «caturra», con entrenudos cortos, forma un pequeño arbusto rechoncho, cultivado en general por su gran productividad en plantaciones de densidad elevada; el «laurina», de hojas semejantes a las del laurel, posee un contenido de cafeína reducido a la mitad en relación a la media de la especie *C. arabica*. Solamente la variedad Mundo Novo, muy popular en Brasil, sería el resultado de un cruzamiento natural entre las variedades introducidas en América. Por otra parte, la falta de diversidad de *C. arabica* en América se ha traducido por una sensibilidad general a *Hemileia vastatrix*.

La multiplicación de los representantes de la especie *C. canephora* introducida en plantación a principios de este siglo no ha conducido a los mismos resultados. Ante todo hay que recordar que el número de cafetos fundadores era mucho más importante y sus orígenes más diversificados que con *C. arabica*. También hay que distinguir dos situaciones, según si los cafetos de *C. canephora* existían o no en estado espontáneo en el país considerado. En Java y en Madagascar, países situados fuera del área geográfica de esta especie, se conoce la procedencia de los cafetos que representaban a las variedades introducidas (Robusta del Congo, Kouilou del Gabón, *C. ugandae*). En cambio, los países africanos situados en el área de distribución del *C. canephora*, como Costa de Marfil, Uganda, o el Zaire, asociaron las variedades introducidas con descendientes de formas espontáneas locales. En todos los casos, el polimorfismo original fue ampliado en el curso de los ciclos de multiplicación, ya que los cafetos que pertenecen a la especie *C. canephora* tienen flores hermafroditas funcionales, cuya autofecundación es impedida por una reacción de incompatibilidad de herencia monofactorial. De lo cual resulta una fecundación cruzada entre plantas distintas y la obtención de cafetos fuertemente heterogéneos desde el punto de vista genético (especie alógama). Sus descendientes expresan una variabilidad importante, debida a la recombinación.

La falta de variabilidad de los cafetos cultivados ha sido verificada principalmente por los exploradores que han recorrido desde 1940 el área de origen africano de *C. arabica*: así, han mencionado la existencia *in situ* de la mayoría de los mutantes descritos anteriormente, al igual que la presencia de cafetos indemnes o poco sensibles a la roya. Este conocimiento ha conducido a nuevas prospecciones de cafetos espontáneos, a partir de 1960, bajo el im-

3. Variabilidad en el contenido en cafeína

■ El café es una bebida estimulante cuya acción fisiológica se atribuye en parte a un alcaloide, la cafeína, cuya presencia en las distintas especies de cafetos varía de forma continua de 0 al 5 % de la materia seca.

Especies	Orígenes	Contenido
Mascarocoffea	Región Malgache	0 %
Paracoffea spp.	India y África	0 %
C. eugenoides	Kenia	0,2 a 0,6 %
C. zanguebariae	Kenia	0,5 %
C. racemosa	Mozambique	0,6 al 1,2 %
C. congensis	Zaire, RCA*	1 a 1,4 %
C. liberica	Costa del Marfil RCA	0,6 a 1,8 %
C. arabica	Etiopía	0,6 a 1,8 %
C. canephora	Costa del Marfil Madagascar	1,3 a 5,2 %

* Repúblicana Centroafricana

La distribución geográfica de este carácter en las poblaciones naturales de cafetos sigue un gradiente decreciente de Oeste a Este: las especies con contenido alto y medio de cafeína crecen en África Occidental y Central, las de bajo contenido se encuentran en África Oriental; los cafetos sin cafeína ocupan la región malgache.

Los cafés Arábica y Robusta comerciales contienen respectivamente de 1 a 1,3 % y de 2 a 3 % de cafeína. La importante variabilidad individual de este carácter cuantitativo ha sido estudiada por Charrier y Berthaud[15] y su sistema de transmisión está actualmente bien definido. La variabilidad intraespecífica de este carácter permitiría seleccionar cepas menos cargadas en cafeína, principalmente en la Robusta. Escogiendo genitores de reducido contenido se han obtenido descendencias de *C. canephora* cuyo contenido en cafeína varía de 1,3 a 2 %.

Parece posible aportar también una solución genética a la producción de cafés que contengan poco o nada de cafeína natural mediante la hibridación de *C. canephora* con las especies salvajes poco cargadas: los cruzamientos con *C. eugenioides* son eficaces y reducen a la mitad el contenido en cafeína de los híbridos F1; los cruzamientos con los cafetos malgaches dan lugar a algunos híbridos poco fértiles y difícilmente explotables a causa del amargor y los gustos particulares del genitor salvaje.

La mejora genética depende de la forma de reproducción de cada especie.

pulso de la FAO y de los organismos franceses de investigación, a saber: el Museum, la Office de la Recherche scientifique et technique Outre-Mer (ORSTOM), el Institut français du café du cacao (IFCC) (cuadro 2). Los muestreadores tomaron en consideración el conjunto de especies del género *Coffea* y los géneros emparentados,[4] es decir, la totalidad del complejo de especies de cafetos en cuyo seno los intercambios genéticos tienen una probabilidad no nula (definición del conjunto o «pool» génico según Harlan y Wet).

El género *Coffea*, por sí solo, comprende una veintena de especies originarias de África —las *Eucoffea*— y unas cincuenta de la región malgache —las *Mascarocoffea*—. El número de unidades sistemáticas descritas traduce la importancia de la diversidad y de las adaptaciones de este complejo multiespecífico, en particular, en la región malgache (fig. 4).

¿Qué mejoras para Arabica...

Las informaciones que acabo de presentar permiten considerar ahora algunas realizaciones para mejora de los cafetos cultivados y las nuevas orientaciones que dar a esas investigaciones.

Para *C. arabica*, los seleccionadores aplican una metodologia clásica para las plantas autógamas (fig. 5). Hemos visto que las variedades cultivadas son líneas homogéneas, genéticamente fijadas y multiplicadas mediante semillas. Por cruzamiento controlado entre cepas portadoras de caracteres complementarios se obtiene una descendencia híbrida homogénea. Éste es el caso de los híbridos de primera generación (F1) obtenidos por cruzamiento de variedades cultivadas de *C. arabica* con las variedades espontáneas de origen etiópico; éstos no podrían ser reproducidos fielmente más que por multiplicación asexual. En efecto, los cafetos híbridos de primera generación poseen una estructura genética heterogénea y dan lugar a una descendencia variable en la segunda generación, compuesta en particular por individuos recombinantes F2, que asocian los caracteres buscados. Como los plantadores de cafetos *Arabica* están habituados a la reproducción mediante semillas, necesitan líneas que permanezcan estables en el curso de las multiplicaciones. Este tipo varietal es obtenido ya por varios ciclos de autofecundación de cada una de las plantas F2 escogidas ya a partir de varios recruzamientos con los mismos padres. Sabiendo que la duración media de una generación es de tres años, esta fase de fijación precisa más de un decenio. La eficacia de este método depende, por una parte, del modo de transmisión genética y de la heredabilidad de los caracteres por mejorar; por la otra, a la diversidad del material vegetal disponible en las colecciones.

Los programas de investigación sobre el café en Portugal,[6] en el Brasil, Colombia, Kenia y la India han privilegiado la mejora de variedades cultivadas mediante la transferencia de factores de resistencia a la roya anaranjada, asociados o no a otras características agronómicas, como la arquitectura del árbol, la calidad del producto, la tolerancia a la sequía y al frío. Estos trabajos serán seguidos prioritariamente, tomándose también en cuenta la resistencia a dos nuevas enfermedades en plena expansión: la antracnosis de las bayas en África del Este, llamada CBD (coffee berry disease) por los anglosajones[7] y la roya harinosa en África Central y Occidental (fig. 6).

Los raros ejemplares que manifiestan un buen comportamiento en relación con la roya anaranjada y el CBD provienen del material originario del centro de origen de la especie *C. arabica*, como la cepa Rume Sudán. Nuevos cafetos resistentes a estas enfermedades están en curso de selección entre las variedades espontáneas etiópicas obtenidas por las prospecciones efectuadas por la FAO y el ORSTOM. Una variedad particularmente interesante, el híbrido de Timor, que asocia la resistencia total a la roya anaranjada, al CBD y a los nemátodos, fue descubierta en los años 1940 por los investigadores portugueses en Indonesia, en la isla de Timor. Esta variedad se parece a Arabica, pero en realidad sería el producto de una hibridación con los Robusta introducidos a principios de siglo en esta región. El cruzamiento del híbrido de Timor con el mutante *Caturra* ha dado lugar a una nueva variedad, que promete un buen futuro, llamada «Catimor». Este ejemplo nos lleva a reconsiderar desde este ángulo el interés de la hibridación entre individuos de especies distintas para la mejora de *C. arabica*.

...y para Robusta?

La selección de *C. canephora* es llevada a cabo de forma muy diferente (fig. 5). Como hemos visto, en esta especie alógama los cafetos tienen un contenido genético heterogéneo, y sus descendientes, producto de fecundaciones cruzadas, manifiestan una importante variabilidad. El polimorfismo de las primeras plantaciones de cafetos Robusta o de descendencias salidas de cafetos salvajes implantados mediante semillas ha sido bien descrito por Porteres[8] y Cramer.[9] En estos casos, la importancia de esta diversidad es tal que, por ejemplo, los cafetos más productivos representan menos del 10 % de los árboles, pero por sí solos pueden suministrar casi la mitad de la producción total. Los investigadores holandeses comprendieron, a principios de 1900, el interés de la multiplicación asexual de individuos excepcionalmente productivos, bien adaptados al medio y de grandes granos. Cada uno de ellos fue entonces multiplicado por injerto para formar una descendencia clonal que poseyera el mismo contenido genético. En las plantaciones es necesario asociar varios clones interfértiles mezclados a fin de asegurar una fecundación cruzada óptima.

Este método de mejora de *C. canephora*, llamado selección vegetativa, empezó a ser operacional cuando una técnica simple y rentable de multiplicación por esquejes y trasplante consiguiente de los cafetos fue definitivamente puesta a punto en los años cincuenta por Vallaeys y Pagacz en el Congo ex Belga, Vianney-Liaud en Madagascar, y Portères y Robinet en Costa de Marfil. Con este procedimiento, todavía en uso, los investigadores del IFCC seleccionaron con el mismo éxito en el Camerún, República Centroafricana, Madagascar y Costa de Marfil los clones productivos (de 2 a 3 t/ha de café), a veces de grandes granos, luego ampliamente difundidos por los servicios nacionales de extensión. Estos resultados fueron obtenidos por la elección de algunas decenas de individuos excepcionales, que respondían a los criterios de selección, entre un gran número de cafetos en plantación (del orden de un millón de árboles en Madagascar) y de descendencias controladas obtenidas en centros experimentales (un centenar de cruzamientos diferentes en Madagascar y Costa de Marfil). Los resultados alcanzados con este método de selección, directamente aplicable después de una o dos generaciones de cruzamientos controlados, dependen de la disponibilidad y de la variabilidad de los descendientes, del modo de transmisión hereditario de los caracteres útiles y de la elección de los padres.

En este sentido, el enriquecimiento de las colecciones de *C. canephora* es una necesidad. Hemos visto que el número de variedades fundadoras constituye una muestra muy incompleta de esta especie, cuya área de distribución natural se extiende por toda la zona forestal intertropical de África Occidental y Central. De Guinea a Uganda, sobre 5 000 km de distancia, los taxonomistas han descrito una quincena de tipos morfológicos o geográficos distintos agrupados en la especie *C. canephora*. La única adquisición reciente recolectada en 1975 por Guillaumet y Berthaud procede de la región de Carnot en la República Centroafricana. Este taxón, original por su tamaño reducido y su adaptación a suelos filtrantes, es estudiado

(4) M. Goujon, *Bull. Soc. Bot. Fr., 126. Actual Bot, 7,* 1979.
(5) J. Berthaud, J.L. Guillaumet, D. Le Pierres, M. Lourd, ASIC, 8.° coloquio, 1977.
(6) A. Charrier, J. Berthaud, *Café, Cacao, Thé, 14,* 251, 1975.
(7) A.J. Bettencourt, J. Lopes, I.L. Godinho ASIC, 9.° coloquio, 1980.
(8) H.A.M Van der Vossen, D.J. Walyaro, *Euphytica, 29,* 777, 1980.
(9) R. Porteres, *Ann. Agric. Afr. Occid., I,* 68, 219 y 405, 1937.

por Berthaud en Costa de Marfil en cruzamiento con cepas seleccionadas de *C. canephora*. En las descendencias obtenidas, los individuos productivos, tolerantes a la sequía y de pequeña talla, son multiplicados mediante esqueje. El interés por el tamaño del árbol es doble: hace posible la plantación en densidades elevadas (5 000 cafetos/ha), lo que conduce a un incremento de producción por hectárea, y la recolección manual o mecánica.

El interés de la multiplicación asexual para obtener directamente variedades de Robusta que posean el mismo contenido genético no ha sido comprendido por todos los cultivadores de café. Algunos de ellos prefieren los cafetos obtenidos mediante semillas a los cafetos obtenidos por esqueje, a pesar de la variabilidad de los primeros. Y sin embargo, el resultado es claro: Capot,[10] en Costa de Marfil, ha demostrado que la producción media por hectárea de las variedades seleccionadas obtenidas de semillas (1,5 t/ha) es inferior a la de los clones obtenidos (2,6 t/ha).

En estas condiciones ¿cómo se pueden crear variedades homogéneas de *C. canephora* reproducibles mediante semillas? Será necesario sintetizar híbridos F1 a partir de padres con contenido genético homogéneo. En esta especie autoestéril no se puede plantear, como con el maíz o el mijo, esta homogeneización de los cafetos a través de varias generaciones autofecundantes, a causa de la duración de los ciclos de generación y del sistema de incompatibilidad. Solamente el empleo de haploides permitiría la creación directa de padres genéticamente homogéneos: en un individuo diploide de contenido genético heterogéneo, cada pareja cromosómica homóloga lleva dos alelos diferentes en el mismo locus; por haploidización, cada planta obtenida no posee más que un solo cromosoma de cada tipo y su duplicación cromosómica mediante la colchicina permite entonces la reconstrucción de un organismo diploide, cada pareja cromosómica homóloga del cual lleva los mismos alelos.

Por el momento, la producción de haploides por cultivo *in vitro* de anteras, polen y óvulos aun no ha sido conseguida para el cafeto. Por el contrario, el aislamiento de embriones haploides espontáneos en la semillas es posible gracias a una técnica de injerto de embriones lograda recientemente en el ORSTOM por Couturon y Berthaud.[11] El material vegetal obtenido (un centenar de haploides actualmente) no permitirá antes de cinco años la evaluación de la importancia del vigor de los híbridos F1 y el interés de esta vía para la creación de variedades homogéneas y propagables mediante semilla.

(10) P.S.S. Cramer (ed) IIAS, Turrialba, Costa Rica, 1957.
(11) J. Capot, *Café, Cacao, Thé, 21*, 233, 1977.

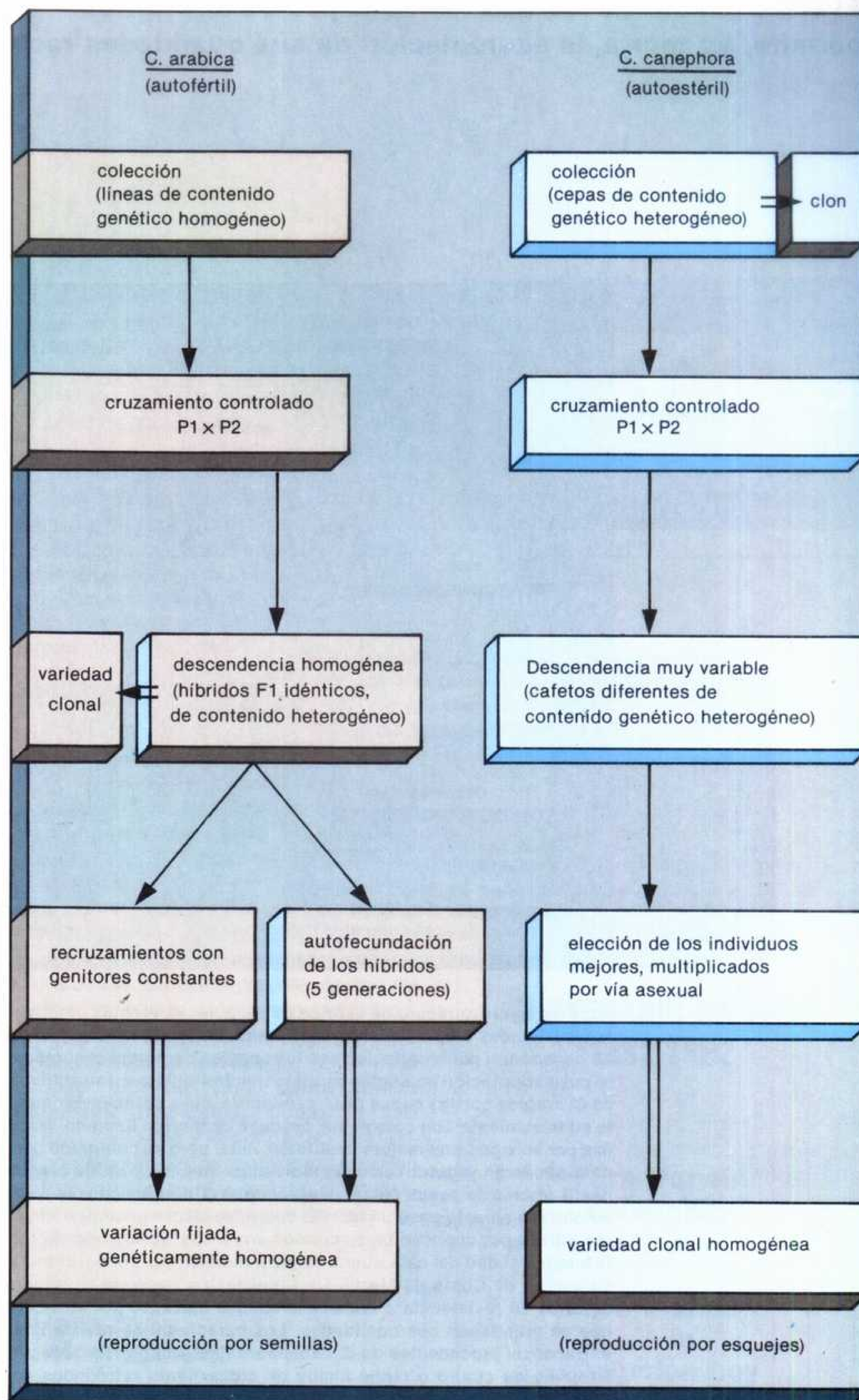


Figura 6. **El sistema de mejora genética de los cafetos cultivados utiliza el modo de reproducción de cada especie y permite crear variedades seleccionadas de estructura genética distinta. *C. arabica*, por ejemplo, es una especie autógama (autofecundación de flores hermafroditas de una misma planta). De ello resulta que las variedades cultivadas son líneas homogéneas desde el punto de vista genético. El cruzamiento controlado de las cepas portadoras de caracteres complementarios (P1 × P2) permite obtener una descendencia híbrida homogénea: estos cafetos vigorosos de primera generación son idénticos, pero de estructura genética heterogénea. Por tanto, no pueden ser reproducidos fielmente más que a través de la reproducción asexual (creación de variedades clonales). En efecto, la descendencia de una reproducción sexual de estos híbridos F1 manifiesta una importante variabilidad. Varios ciclos de autofecundación de cada una de las plantas de segunda generación (F2) obtenidas, o varios recruzamientos con el mismo genitor permiten la obtención de una variedad genética estable y homógenea que hace posible su multiplicación por semillas. La selección de *C. canephora* es realizada de modo bien distinto. En esta especie tiene lugar la fecundación cruzada entre plantas diferentes, con lo cual sus descendencias son fuertemente heterogéneas desde el punto de vista genético (especie alógama). En este caso, la multiplicación asexual de los individuos excepcionalmente productivos permite constituir una descendencia clonal que posea el mismo contenido genético.**

La explotación de los híbridos

Desde el inicio de la selección de los cafetos en Java, los investigadores holandeses[9] no han descuidado el estudio de los híbridos aparecidos de forma natural en las descendencias; sin embargo, solamente los híbridos Congusta han tenido un desarrollo económico. Desde 1960, esta vía de mejora ha vuelto a suscitar interés en Brasil, India, Kenia, Madagascar y Costa de Marfil. Los investigadores de estos países han recurrido principalmente a la hibridación de dos especies cultivadas. También han realizado cruzamientos con otras

El cruzamiento de los cafetos de especies diferentes permite, en teoría, la acumulación de sus cualidades respectivas.

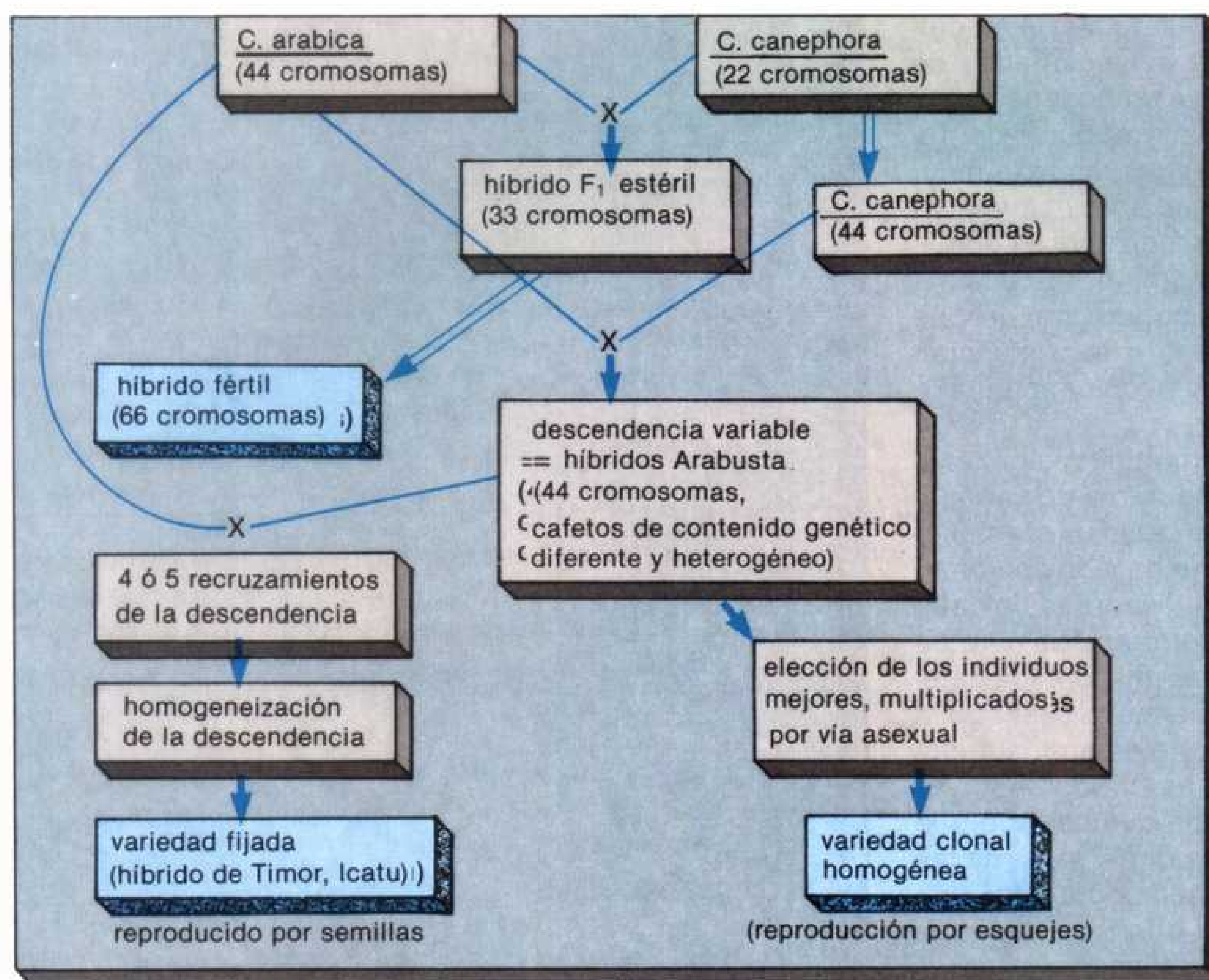


Figura 7. **El cruzamiento de cafetos de especies diferentes permite, en teoría, la acumulación de sus cualidades respectivas. De esta manera es posible la mejora de la calidad del café Robusta *(C. canephora)* por hibridación con la especie *C. arabica*, conocida por su valor organoléptico pero cuya adaptación ecológica es un factor limitante para su cultivo a baja altitud. El cruzamiento de *C. arabica* con las cepas de *C. canephora*, cuya dotación cromosómica fue duplicada mediante su tratamiento con colchicina, produce un híbrido llamado *Arabusta*. Este híbrido se caracteriza por su vigor, una mejora cualitativa neta, pero su contenido genético es muy heterogéneo: la multiplicación vegetativa de los individuos mejores permite crear una variedad clonal homogénea. También se puede cruzar directamente *C. arabica* con las cepas diploides de *C. canephora*. Se obtiene en este caso un híbrido estéril de 33 cromosomas, cuya fertilidad queda plenamente restaurada por duplicación de cromosomas. Los híbridos de 66 cromosomas se caracterizan por la buena calidad del café obtenido, pero también por su mal comportamiento en las condiciones de cultivo de Costa de Marfil. Otra realización consiste en mejorar *C. arabica* incorporándole factores de resistencia a las enfermedades portados por otras especies de cafetos, al tiempo que se mantienen sus cualidades. Los caracteres de resistencia a la roya anaranjada y a la antracnosis procedentes de *C. canephora* han sido transferidos por medio del híbrido *Arabusta*. Después de cuatro o cinco ciclos de cruzamiento retrógados con la generación parental de *C. arabica* y la selección de los individuos equilibrados, los brasileños han creado una variedad estable y resistente llamada Icatu. El híbrido de Timor, de origen natural y explotado por los portugueses, podría seguir la misma vía.**

especies del género *Coffea* no explotadas, para conferir a las primeras caracteres nuevos, como la tolerancia a la sequía de *C. racemosa*, el débil contenido en cafeína de *C. eugenioides* o la ausencia de este alcaloide en los granos de las *Mascarocoffea* (cuadro 3), la resistencia a los nemátodos de *C. salvatrix*, la arquitectura y la floración tardía de *C. liberica*, etc.

Participando en estas investigaciones he propuesto una primera síntesis en base a las afinidades de las especies del género *Coffea*:[12] con excepción de *C. arabica*, todos los cafetos estudiados tienen 22 cromosomas somáticos: cada tipo cromosómico está representado por dos ejemplares homólogos. Mediante cruzamiento de estas especies llamadas diploides, Monaco en Brasil, Charrier en Madagascar y Louarn en Costa de Marfil, han obtenido híbridos F1. Su comportamiento meiótico indica que estas especies han conservado unas estructuras cromosómicas suficientemente próximas como para derivar de un genoma común A. La especie *C. arabica* tiene 44 cromosomas y estaría constituida de dos genomas A' y A'' procedentes de cafetos diploides. La organización monofilética del género *Coffea* es, pues, favorable a los intercambios de información genética de las diferentes especies.

Ilustraré las principales posibilidades de explotación de la hibridación interespecífica en los cafetos a través de tres realizaciones distintas (fig. 7).

La primera se refiere a los híbridos Congusta producto del cruzamiento *C. canephora* × *C. congensis* (fig. 1). En la costa este de Madagascar, el IFCC los ha seleccionado por vía vegetativa, como las cepas de *C. canephora*. El interés de estos híbridos fértiles y vigorosos reside en su adaptación a los suelos de aluvión temporalmente inundados y en la producción de granos de buen tamaño que pueden entrar en mezclas con café *Arabica*. La mejora de los híbridos Congusta fue dificultada por la desaparición de la poco vigorosa especie *C. congensis* de las colecciones. La prospección de Guillaumet y Berthaud en la República Centroafricana ha permitido la reconstitución de una reserva de 500 cafetos salvajes de *C. congensis* en Costa de Marfil y reemprender la selección de híbridos Congusta.

La segunda realización se refiere a la mejora de la calidad del café Robusta producido en África, mediante hibridación con la especie *C. arabica*, conocida por su valor organoléptico, siendo su adaptación ecológica un factor limitante para su cultivo a baja altitud. Capot[13] ha creado un híbrido de 44 cromosomas llamado *C. arabusta* por cruzamiento de *C. arabica* con las cepas de *C. canephora* cuyo número de cromosomas ha sido duplicado mediante su tratamiento con colchicina. Esta nueva estructura híbrida de 1.ª generación se caracteriza por su vigor, que aumenta netamente, pero también por su fertilidad no enteramente satisfactoria (fig. 1). Este híbrido de contenido genético muy heterogéneo se somete a una selección clonal como las descendencias de Robusta. Las primeras cepas de Arabusta seleccionadas por el IFCC de Costa de Marfil alcanzan una producción de 1,5 t/ha y actualmente son objeto de un estudio de comportamiento en una extensión de 500 ha: con ello se permitirá refinar los métodos agronómicos y tecnológicos, así como la producción de café Arabusta destinada a la promoción del producto. También es posible cruzar directamente la especie *C. arabica* con las cepas diploides de *C. canephora*. En este caso se obtiene un híbrido triploide estéril, de 33 cromosomas, cuya fertilidad es restaurada completamente por duplicación del número cromosómico. Según los trabajos de Berthaud, Le Pierres y Anthony, los híbridos hexaploides se caracterizan por la influencia predominante del padre *C. arabica*, o sea, por la buena calidad del café obtenido, pero también por un mal comportamiento en las condiciones de cultivo de Costa de Marfil.

La tercera realización se relaciona con las posibilidades de mejora de *C. arabica* por la incorporación de factores de resistencia a las enfermedades que afectan a otras especies de cafetos, preservando al mismo tiempo sus cualidades. Los investigadores brasileños han transferido a las variedades de *C. arabica* algunos caracteres de resisten-

(12) E. Couturon, J. Berthaud, *Café, Cacao, Thé, 23*, 267, 1979.
(13) A. Charrier, ASIC, 8.° coloquio, 399, 1977.
(14) J. Capot, *Café, Cacao, Thé, 16*, 3, 1972.
(15) L.C. Monaco, ASIC, 7.° coloquio, 497, 1975.

cia a la roya anaranjada y a la antracnosis procedente de *C. canephora* a través del híbrido Arabusta; este último ha sido sometido a 4 ó 5 ciclos de cruzamientos retrógrados con la forma parental *C. arabica* variedad Mundo Novo. Mediante la selección de individuos equilibrados, Monaco[14] registra la creación de una población de cafetos tetraploides fértiles y resistentes a las enfermedades, al que llama Icatu. El híbrido de Timor, de origen natural y explotado por los portugueses, podría seguir la misma vía.

De hecho, entre los cultivadores de café, las posibilidades de mejora ofrecidas por los cruzamientos entre especies apenas han sido explotadas. Los ejemplos presentados podrían servir de modelo a la creación de todo tipo de combinaciones interespecíficas que podrían sustituir a *C. canephora* por otros cafetos diploides. En esta línea trabajan los investigadores del ORSTOM desde 1975 en Costa de Marfil, gracias a las colecciones de cafetos que han constituido.

La multiplicación asexual permanece más que nunca de actualidad en la selección de los cafetos cultivados. Tiene la triple ventaja de multiplicar estructuras genéticas heterogéneas cualquiera que sea su origen, asegurar su reproducción en forma de un clon homogéneo (con sólo unas pocas restricciones) y limitar al mínimo estricto el número de ciclos de selección. La selección clonal, de empleo corriente en *C. canephora,* es también el método de exploración más eficaz de los nuevos cafetos obtenidos de una hibridación interespecífica. Incluso en el caso de la especie *C. arabica,* que se acostumbra a multiplicar por medio de semillas, sería mucho más rápido el reproducir por vía asexual los mejores descendientes híbridos de contenido genético heterogéneo que manifiesten un vigor explotable. Van Der Vossen, en Kenia, ha considerado la utilización de híbridos de *C. arabica*, aunque la multiplicación por esqueje presenta por el momento algunas dificultades en las condiciones climáticas de altitud.

Por otra parte, hay otras técnicas de multiplicación asexual aplicadas en arboricultura frutal. El empleo del injerto representaría un progreso indiscutible teniendo en cuenta la adaptación del portainjertos al suelo y su interacción con injertos que produzcan un café de calidad. Mencionaré también las nuevas posibilidades ofrecidas por el desarrollo del cultivo *in vitro* (*Mundo Científico,* n.° 18, p. 948).

Desde su primera aplicación a *C. canephora* por Starisky en 1970, esta técnica ha sido extendida a *C. arabica* por Sondhal y Sharp en Brasil, y sobre los híbridos Arabusta por Dublin, en Francia, ya por medio de microesquejes ya por neoformación de yemas.

De cualquier modo, el empleo de variedades clonales comporta dos inconvenientes: por una parte, la multiplicación vegetativa incrementa la transmisión de enfermedades virales; por otra, el cultivo de un número limitado de variedades clonales sobre grandes extensiones favorece las epidemias y la evolución de ciertos parásitos. La creación permanente de nuevas variedades por selección clonal permite limitar este doble riesgo. En definitiva, la diversidad de las poblaciones naturales de los cafetos continúa siendo el principal recurso para su mejora, a la vista de la pequeña porción de su variabilidad utilizada en su selección. ¿Acaso no se han encontrado nuevas especies en el curso de exploraciones recientes en Madagascar y en África del Este? Pero, en general, no cabe esperar por mucho tiempo que sea posible recolectar aún cafetos espontáneos en las selvas tropicales africanas, objeto de una frenética exploración. La preservación de los recursos genéticos del género *Coffea* debe ser privilegiada, como la de muchas de las plantas cultivadas (*La Recherche* n.º 84, p. 1067, dic. 1977). Otras plantas arbustivas tropicales, como la del caucho, la palma y la del cacao, presentan particularidades comunes con las de los cafetos que autorizan comparaciones útiles para la política de su mejora genética. ■

Para más información:

Sobre la agronomía y la tecnología del café:

■ R. Coste, *El café,* Editorial Blume, Barcelona 1969 (1978 3.ª ed).

Le Pelley, R.H. *Las plagas del café,* ed. Labor, Barcelona, 1968.

Sobre la genética de los cafetos:

■ A. Carvalho et al., en F.P. Ferwerda, F. Wit (eds.), *Outlines of perennial crop breeding in the tropics,* Landbouwhogeschool, Wageningen, Miscel. pap. n.° 4, 169.

■ A. Charrier. «La structure génétique des caféiers spontanés de la region malgache. Leurs relations avec les caféiers d'origine africaine», Mémoires ORSTOM, n.° 87, 1978.

Sobre la mejora de las plantas:

■ Y. Demarly, «L'amelioration des plantes», *La Recherche,* n.° 38, p. 867, oct. 1973.





Figura 1. **La lepra es causada por una bacteria llamada *Mycobacterium leprae,* o también bacilo de Hansen, que se asienta a nivel de la piel y de ahí se propaga a lo largo de las terminaciones nerviosas. Según los casos, los enfermos tienen la piel hinchada, especialmente en el rostro, y presentan lesiones de las mucosas nasales, estomacales, afecciones oculares, etc. La lepra puede también llevar a la destrucción de la inervación y entrañar la parálisis o anestesia de los pies, de las manos o de los miembros. El enfermo corre entonces el riesgo de automutilarse inadvertidamente.** (Foto: CNRI.)

Pronto, la vacuna contra la lepra

Enfermedad que corroe la piel, desfigura, deforma y mutila manos y miembros... la lepra permanece como un recuerdo aterrador en la memoria colectiva de los países europeos: los leprosos, numerosos durante toda la Edad Media en Europa, fueron objeto de violentas reacciones de rechazo, por temeroso pánico al contagio y, sin duda, también como consecuencia de los vivos sentimientos de repulsión que inspiraban (de ahí la condición de «paria» que caracterizaba a los leprosos en esta época y su encierro en las leproserías extramurales). La lepra desapareció de Europa a fines de la Edad Media, pero todavía persiste en África, Asia y América del Sur. Así, en los países tropicales hay aún de diez a quince millones de leprosos, y la Organización Mundial de la Salud ha inscrito la lepra entre las seis enfermedades tropicales que prioritariamente se ha propuesto erradicar.[1] Felizmente, el sino de los leprosos de nuestros días no es el que les deparaba la Edad Media.

Desde la segunda guerra mundial se dispone de antibióticos como la dapsona, la rifampicina y la clofacimina, capaces de dar muerte al bacilo responsable de la enfermedad. Hasta los años 1960 cabía la esperanza de curar por este medio a todos los enfermos afectados de lepra; el único problema, nada sencillo por cierto, era llevar del 25 al 100 % la tasa de los enfermos efectivamente tratados (las tres cuartas partes de los enfermos no recibían cuidados por falta de créditos, de personal cuidador, etc..., en fin, problemas clásicos en los países del Tercer Mundo). Pero, después de 1960 se sobreañadieron nuevos problemas: los casos de resistencia a la dapsona (el medicamento utilizado más corrientemente, barato e inofensivo) no han cesado de multiplicarse, alcanzando tasas alarmantes. Hoy, la rifampicina y la clofacimina también encuentran resistencias y, por otra parte, son costosos y presentan molestos efectos secundarios. Éstos últimos años el tratamiento de la lepra ha llegado a ser, pues, cada vez más complicado, más caro y menos seguro. De ahí que hoy la OMS se dedique especialmente a la obtención de una vacuna contra la lepra. En este sentido recientemente se han superado etapas decisivas, hasta el punto de que la compañía farmacéutica británica Welcome debería iniciar este año ensayos preliminares en el hombre con miras a determinar a qué dosis es eficaz la vacuna con efectos secundarios mínimos.[2]



Figura 2. **El armadillo es un pequeño mamífero del orden de los edentados que vive en América del Sur y hasta el Sur de Estados Unidos. Es uno de los raros mamíferos que posee un caparazón dorsal cuyas escamas son pequeños huesos implantados en la dermis. En razón a una temperatura corporal inferior de dos a cinco grados centígrados a la de la mayoría de los mamíferos, el armadillo últimamente se ha revelado un excelente «huésped» para la bacteria responsable de la lepra. Gracias al armadillo podrá producirse la vacuna contra esta enfermedad.** (Foto: Jacana.)

Desfallecimiento de los glóbulos blancos

La lepra es causada por una bacteria llamada *Mycobacterium leprae* o también *bacilo de Hansen,* nombre del médico noruego que la descubrió en 1873. Esta bacteria pertenece a la familia de las micobacterias (como el bacilo de Koch, agente de la tuberculosis). Se asienta a nivel de la piel y, de ahí, se propaga a lo largo de las terminaciones nerviosas. La resistencia del organismo a la infección por *Mycobacterium leprae* no reside en la inmunidad humoral, es decir en la producción de anticuerpos, como sucede en numerosas afecciones microbianas o virales, sino en la inmunidad celular, es decir, en la movilización de dos categorías de glóbulos blancos: macrófagos y linfocitos T. Los macrófagos son gruesos glóbulos blancos que discurren por los tejidos y fagocitan (ingieren) los bacilos. En la mayoría de individuos, los macrófagos son capaces de matar los bacilos de la lepra que han englobado en su citoplasma (de esta forma del 80 al 90 % de la población es espontáneamente resistente). Este poder le es conferido por un mensaje químico que les es transmitido por la otra categoría de glóbulos blancos, los linfocitos T. Éstos deben experimentar una maduración y preparación acorde en el timo, para llegar a ser capaces de reconocer específicamente un agente extraño dado (en este caso, el bacilo de la lepra). En los leprosos afectados de la forma denominada lepromatosis, los linfocitos T aparecen como desfallecidos, y los macrófagos no son capaces de dar muerte a los bacilos que han fagocitado. Así, los bacilos proliferan en el interior de aquéllos (aunque sin matarlos) y son diseminados por estas células migradoras por todo el organismo, por el que seguidamente pululan. Los enfermos afectados de lepra lepromatosa tienen la piel hinchada, abotargada, especialmente al nivel del rostro; presentan lesiones de las mucosas nasales, estomacales..., inflamaciones de los nervios, afecciones oculares que pueden llevar a la ceguera, etc. La enfermedad evoluciona durante muchos años (el período de incubación es ya de por sí muy largo: tres a diez años). Afecta al estado general y comporta numerosas complicaciones a causa de reacciones inflamatorias agudas que sobrevienen por episodios. Los enfermos

Médicos venezolanos e indios han vacunado ya eficazmente a individuos susceptibles de convertirse en leprosos.

afectados de la forma lepromatosa son en extremo contagiosos, puesto que albergan enormes cantidades de bacilos de Hansen.

Hay otras formas de lepra; la lepromatosis representa sólo el 20 % de los casos. La forma más frecuente es la denominada tuberculosis. Según parece, en esta forma de lepra, los enfermos poseen linfocitos T funcionales y sus macrófagos son en principio capaces de destruir el bacilo de Hansen. Pero la regulación de la inmunidad celular en estos enfermos es mala: la respuesta inmunitaria rebasa la simple destrucción del bacilo de Hansen y daña los troncos nerviosos a lo largo de los cuales el bacilo se establece: dan como resultado inflamaciones o neuritis que eventualmente conducen a la destrucción de la inervación. Los pies, las manos o los miembros pueden quedar, así, paralizados o anestesiados: este último proceso pone al enfermo en peligro de automutilarse inadvertidamente (fig. 1). Pero, contrariamente al lepromatoso, el leproso tuberculoide no es contagioso: el bacilo de Hansen no pulula en el organismo de este tipo de enfermo, fuera de las lesiones propiamente dichas.

Hasta estos últimos años, la consecución de una vacuna contra la lepra había sido imposible ya que el bacilo de Hansen no parecía cultivable en laboratorios. Por fin, en 1960, Charles C. Sheppard, en Estados Unidos, logró cierta proliferación de este microbio en los pulpejos plantares del ratón. En efecto, el bacilo de Hansen se asienta preferentemente a nivel de la piel porque ésta presenta una temperatura ligeramente inferior a la del resto del cuerpo. De ahí que los pulpejos plantares del ratón ofrezcan una superficie habitable al *Mycobacterium leprae.* Gracias a esta fuente de agente patológico, Sheppard ha podido demostrar que era posible inmunizar a los ratones contra la lepra, inyectándoles una vacuna realizada a partir de bacilos de Hansen muertos.

Luego, en 1969, W.F. Kirchheimer y E.E. Storrs, en Luisiana, demostraron que era posible hacer que el *Mycobacterium leprae* se multiplicara en el armadillo. Este curioso animalito de América, uno de los raros mamíferos dotados de un caparazón escamoso, tiene una temperatura corporal de 2 a 5 °C más baja que la de los otros mamíferos (fig. 2). Los armadillos enfermos de lepra pueden proporcionar a los investigadores órganos (bazo, hígado...) que contienen hasta un billón de bacilos por gramo de tejido. Con tales cantidades se han hecho posibles desde entonces todas las investigaciones y, en particular, las tendentes a la consecución de una vacuna. Gracias al apoyo del «Programa especial de la OMS para las enfermedades tropicales» había, a principios de 1980, nueve centros de cría de armadillos en el mundo con un censo conjunto de 300 animales.

W.F. Kirchheimer ha demostrado recientemente que era posible vacunar al armadillo con bacilos de Hansen muertos. ¿Y al hombre?

¿La erradicación de la lepra para el año 2000?

Desde 1975, un leprólogo venezolano, Jacinto Convit, y sus colegas del Instituto de dermatología de Caracas demostraron que la vacunación era posible. Este equipo preparó una vacuna con *Mycobacterium leprae* cultivados en el armadillo y purificados según una técnica conseguida por Philip Draper en Gran Bretaña. Los bacilos muertos fueron inyectados en asociación con el adyuvante BCG, preparación de bacilo tuberculoso atenuado que provoca una inmunización específica contra la tuberculosis y que, en general, también exalta todas las funciones inmunitarias. Por ello ha sido empleado por Convit para aumentar las probabilidades de que el bacilo de Hansen muerto estimule las defensas inmunitarias. Convit y sus asociados inyectaron su vacuna a dos tipos de personas: por su parte, a leprosos afectados de la forma incipiente de la lepra (forma dicha indeterminada, con signos clínicos todavía poco marcados). Y más concretamente, los enfermos fueron elegidos entre los que daban prueba de una inmunidad celular desfalleciente de oposición al bacilo de Hansen (una prueba llamada reacción de Mitsuda permite señalar este desfallecimiento inmunitario). Normalmente en estos leprosos «incipientes» hay gran riesgo de evolución hacia la forma lepromatosa. Ahora bien, tras la inyección de la preparación de Convit, estos enfermos mostraron a la reacción de Mitsuda una inmunidad celular restaurada de oposición al bacilo de Hansen. La progresión de su enfermedad fue detenida.

Las otras personas inyectadas por Convit fueron individuos sanos, pero que vivían en contacto con sujetos leprosos, y que a la reacción de Mitsuda se revelaron sin inmunidad celular frente al bacilo de Hansen. Aun así, la inyección de la vacuna fue eficaz y la inmunidad celular de estos sujetos fue restablecida.

Recientemente, unos investigadores indios, M.G. Beo, C.V. Bapat, R.C. Chulowalla y W.S. Bhakti de Bombay han demostrado igualmente que la vacunación contra la lepra era posible. Más concretamente, han demostrado que la inyección de los bacilos de Hansen irradiados a enfermos afectados de la forma lepromatosa restablecía en el 50 % de los sujetos la inmunidad celular contra este bacilo. Una notable particularidad de este experimento indio reside en que no ha sido hecho con bacilos cultivados en el armadillo. En efecto parece que los investigadores indios han logrado cultivar en laboratorio una variedad concreta de *Mycobacterium leprae,* llamada ICRC, proporcionada por un enfermo lepromatoso.

Ahora, la Organización Mundial de la Salud se propone reproducir estas diferentes experiencias en mayor escala y en condiciones definidas de seguridad. Como hemos dicho antes, los laboratorios Wellcome están a punto de producir grandes cantidades de vacuna para iniciar los primeros ensayos con miras a determinar la dosis inyectable. Los ensayos cursarán hasta 1983 en poblaciones europeas y norteamericanas (digamos entre paréntesis que es de observar la elección de estas poblaciones, normalmente no expuestas a la lepra, como «cobayas» para la vacuna antilepra: responde al deseo expresado por los países del Tercer Mundo de dejar de ser considerados automáticamente, como «conejos de indias» cuando se trata de la consecución de nuevas terapéuticas, como ha sucedido con demasiada frecuencia en el pasado..., aunque, preciso es subrayarlo, nunca en el marco de la OMS). Cuando hayan sido determinadas las dosis apropiadas, otros sujetos, siempre en estas poblaciones occidentales, serán vacunados y observados luego durante diez años consecutivos para comprobar si la inmunización es duradera. Es de destacar que unas pruebas cutáneas y serológicas (basadas en la inmunofluorescencia o inmunorradiología) están a punto de conseguirse en unos laboratorios japoneses y noruegos con miras al seguimiento de la respuesta inmunitaria a la vacuna.

En los países expuestos a la lepra, los ensayos deberían extenderse de 1983 a 1993 sobre, aproximadamente, 600 000 individuos. Los sujetos que recibirán la vacuna serán, como en la experiencia de Convit, individuos sanos en contacto con los leprosos o individuos en fase prelepromatosa. Por otra parte, deberán realizarse encuestas epidemiológicas para verificar si el proceso de vacunación disminuye significativamente la incidencia de la lepra en las poblaciones. No es una de las menores dificultades, ya que dicha incidencia es débil, del orden del 0,5 % en los países tropicales, y con una distribución muy irregular.

Si todos los obstáculos son salvados, la campaña de vacunación en masa debería desarrollarse, pues, en el curso del último decenio de este siglo. Hacia el año 2 000 que, según los anhelos de la OMS, debería ser «el año de la salud para todos», podría haber sido conseguida la erradicación mundial de la lepra.

Marcel Blanc.

(1) H. Sansarricq, the WHO leprosy program. *Ann Microbiol., 133 B,* 5-12, 1982.
(2) T.H. Maugh, *Science, 215,* 1083, 1982.
(3) *Le Quotidien du Médecin,* n.° 2610, p. 19, 25 enero 1982; *Nouvelle Presse Médicale, 10,* 3691, 1982.
(4) *Le Quotidien du Médecin,* enero 1982.
(5) M.G. Deo, C.V. Bapat, R.C. Chulowalla, W.S. Bhakti, *Indian Journal of Medical Research, 74,* 164, 1981.

La fisión nuclear

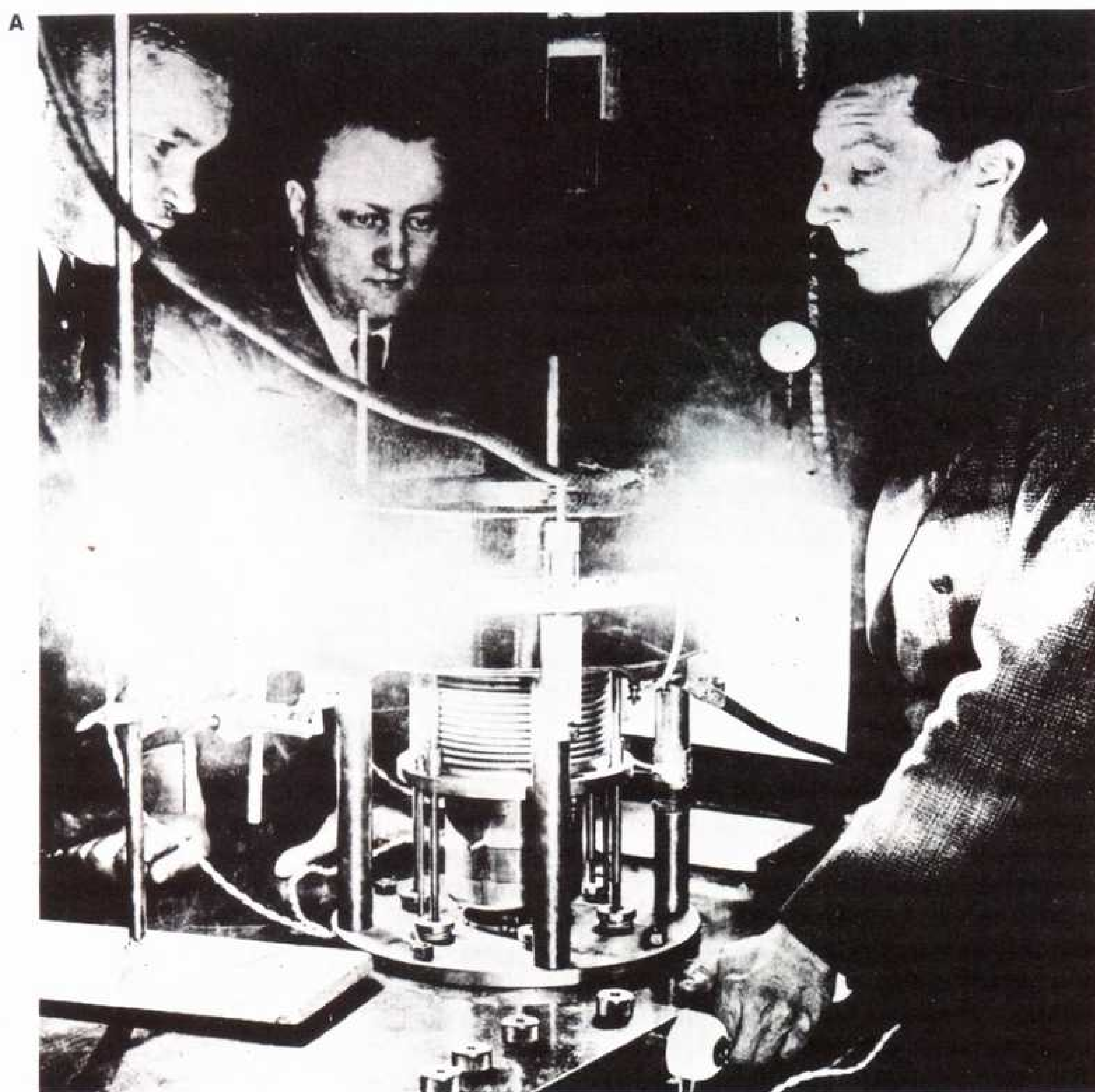
por André Michaudo

André Michaudon es director adjunto del Departamento de física general del Comisariado francés de energía atómica.

■ En 1942 entró en funcionamiento en Chicago el primer reactor nuclear experimental. E 1945 se produjeron las primeras explosiones atómicas, primero en Nuevo México a título ex perimental y luego en Hiroshima y Nagasaki... Fue así como el público tuvo conocimiento hace unos cuarenta años, de los efectos de la fisión nuclear. Fueron también estos dos as pectos, el energético y el militar, los que durante mucho tiempo resultaron favorecidos e las investigaciones efectuadas sobre este fenómeno; sin embargo, algunos conceptos fu damentales que rigen la fisión sólo han empezado a ser estudiados en profundidad a parti de los años 1960.

■ La fisión constituye un fenómeno excesivamente complejo y aún mal conocido. Oscilan do entre un enfoque macroscópico y un enfoque microscópico, los físicos han optado po una solución intermedia, propuesta en 1967 por el soviético Strutinski. Sin justificación rigu rosa en el plano fundamental, este modelo ha demostrado pronto una gran precisión. Gra cias a su empleo generalizado, se ha llegado actualmente a una comprensión global de la fi sión de la mayoría de los núcleos pesados. ¡Queda ahora por explicarlo desde el punto d vista microscópico!

A



B



A. Hacia 1938-1939, varios equipos se dedicaban activamente al estudio de la fisión. Hahn y Strassmann fueron los primeros en descubrir el proceso, pero, inmediatamente después, Joliot y su equipo desempeñarían un papel fundamental en la continuación del estudio del fenómeno y de sus importantísimas aplicaciones energéticas. En la figura aparecen, de izquierda a derecha, L. Kowarski, H. Halban y F. Joliot en 1939 alrededor de una cámara de niebla, también llamada cámara de Wilson, aparato muy utilizado para estudiar ciertos fenómenos nucleares, entre ellos la fisión. (Foto Institut Curie.)

B. El rápido desarrollo de las aplicaciones energéticas de la fisión estimuló vigorosamente su estudio y con este fin se construyeron numerosas e importantes instalaciones. La fotografía, vista aérea de una de ellas tomada en el C.E.N. de Saclay, muestra un conjunto dedicado a la espectrometría de neutrones según tiempo de vuelo, que utiliza un acelerador lineal de electrones de 60 MeV. Este conjunto comenzó a funcionar en 1956. El acelerador lineal y el blanco productor de neutrones están alojados en el edificio más alto. Hacia este último convergen varios tubos, el más largo de los cuales mide cerca de 200 metros. Son las bases de vuelo, en las que se propagan los neutrones antes de su detección en las estaciones situadas a intervalos regulares en cada una de aquéllas. En los tubos se hace el vacío, con el fin de evitar la atenuación de los neutrones en el aire (figura 7). Las dimensiones del conjunto, que se extiende sobre tres hectáreas, contrastan con el modesto tamaño de la cámara de niebla de A. (Foto C.E.N. Saclay.)

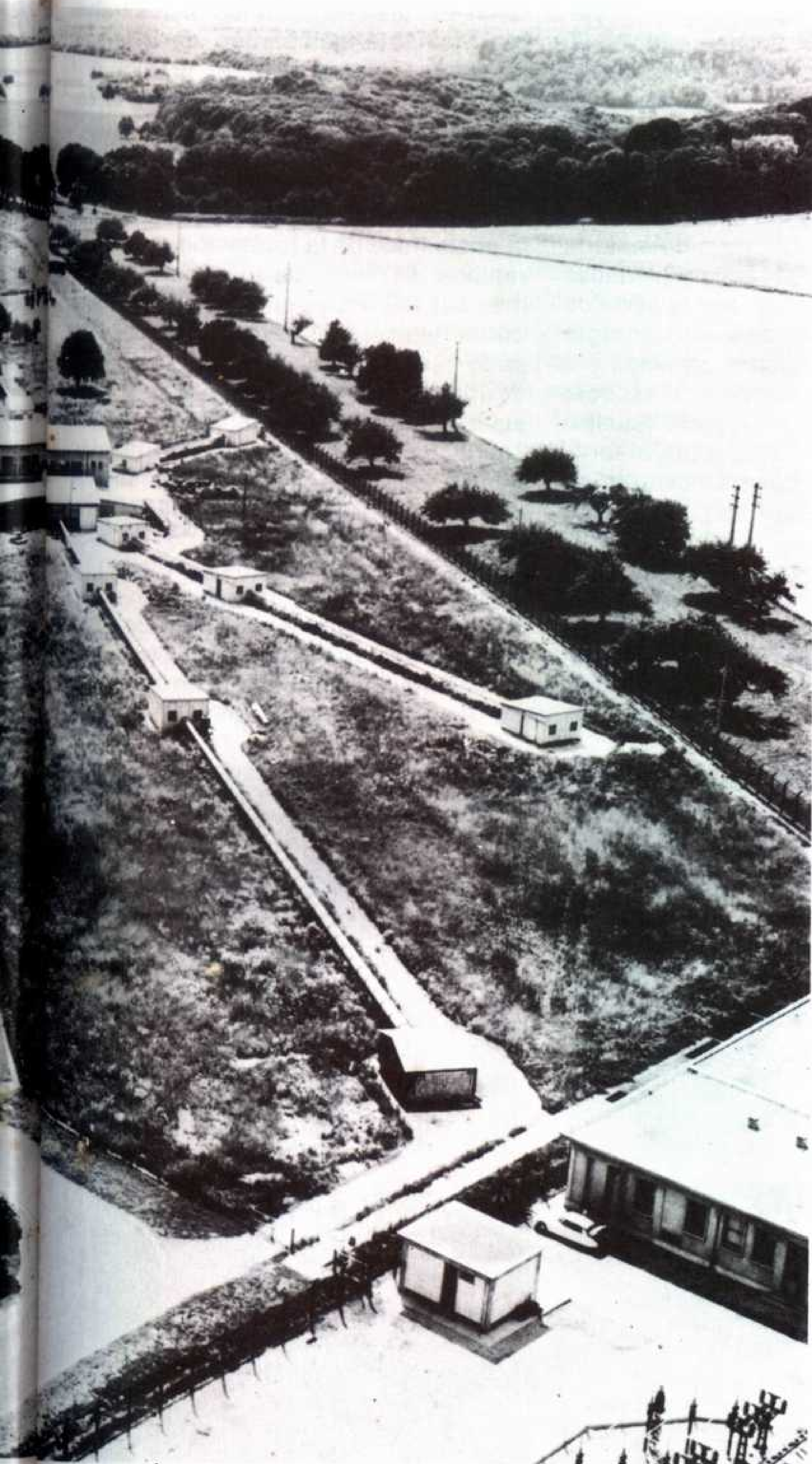
La fisión es sin duda, y con mucho, el fenómeno nuclear más conocido por el gran público y el que ha dado lugar a los más apasionados debates. Sin embargo, la comprensión que de ella se tiene es bastante reducida, no sólo por parte de los profanos sino también de numerosos físicos nucleares, hasta fechas recientes por lo menos. Las razones son múltiples: complejidad del fenómeno, importancia de sus aplicaciones energéticas tanto civiles como militares, contexto histórico, evolución general de la física nuclear, etc. Vamos a intentar pues, ante todo, desenredar la complicada madeja de su evolución a fin de aislar los rasgos principales.

Las aplicaciones energéticas y los aspectos fundamentales se mezclan

La fisión entró bruscamente en el mundo de la física y en la historia en 1938 cuando fue descubierta por O. Hahn y F. Strassmann,[1] en vísperas de un conflicto mundial que iba a estimular poderosamente su estudio y hacerle desempeñar un papel cada vez más importante, por lo menos hasta su desenlace en 1945.

La fisión es un fenómeno en cuyo transcurso un núcleo pesado de la familia de los actínidos, es decir, con un número de protones $Z > 89$, se deforma hasta escindirse en dos fragmentos, llamados fragmentos de fisión, de masas comparables aunque generalmente distintas. Esta ruptura puede producirse espontáneamente, es decir, cuando el núcleo está aislado de toda influencia exterior: es lo que se llama fisión espontánea. La ruptura puede producirse también durante una reacción nuclear, por

(1) O. Hahn y F. Strassmann, *Naturwissenschaften*, *27*, (1939), 11.



C

C. **En 1934 aparecieron los primeros indicios de una radiactividad originada en productos de fisión. Hubo que esperar, no obstante, 4 años y una serie de descubrimientos mal comprendidos para que se aclararan los grandes conceptos del fenómeno de la fisión. F. Joliot y su equipo, los primeros en estudiar la emisión de neutrones, ya desde el inicio de sus trabajos previeron las implicaciones de este fenómeno con miras al establecimiento de reacciones en cadena con liberación de enormes cantidades de energía. Ante la importancia de las aplicaciones energéticas, este equipo patentó varios inventos, dos de los cuales reproducimos aquí el comienzo. Uno de ellos se refiere a la producción controlada de energía (los reactores nucleares); el otro a las cargas explosivas (la bomba atómica.)** (Copyright PUF)

DISPOSITIVO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

H. von HALBAN, F. JOLIOT, L. KOWARSKI y F. PERRIN: Patente de invención: Gr. 5-Cl. 2 N.º 976 541, solicitada por la Caisse nationale de la Recherche scientifique (1.º de mayo de 1939)

Se sabe que la absorción de un neutrón por un núcleo de uranio puede provocar la ruptura de este último con desprendimiento de energía y emisión de nuevos neutrones en número superior a la unidad por término medio. Un cierto número de los neutrones así emitidos pueden provocar a su vez —en núcleos de uranio— nuevas rupturas, y las rupturas de núcleos de uranio pueden ir incrementándose en progresión geométrica con desprendimiento de cantidades extremadamente grandes de energía.

De acuerdo con la presente invención, nos hemos percatado de que si se llegara a provocar dicha reacción en el seno de una masa limitada de uranio (o de un compuesto de uranio o de una mezcla que contiene uranio), cabría extraer de esta masa y utilizar con fines industriales la energía así liberada por las cadenas de rupturas sucesivas.

Pero, nos enfrentamos al punto a una dificultad primordial: como estas cadenas pueden ramificarse de una manera ilimitada, la reacción puede volverse explosiva, lo que restringiría considerablemente las posibilidades de utilización de la masa de uranio en cuestión como fuente manejable de energía industrial.

Hemos intentado dominar pues el desprendimiento de energía, impidiendo que se vuelva explosivo. Para ello hemos ideado lo siguiente:

PERFECCIONAMIENTOS DE CARGAS EXPLOSIVAS

H. von HALBAN, F. JOLIOT, L. KOWARSKI y F. PERRIN: Patente de invención Gr. 14-Cl. 3 N.º 971 324, solicitado por la Caisse nationale de la Recherche scientifique el 4 de mayo de 1939

Se sabe que la absorción de un neutrón por un núcleo de uranio puede provocar la ruptura de este último con desprendimiento de energía y emisión de nuevos neutrones en número superior a la unidad por término medio. Un cierto número de los neutrones así emitidos pueden provocar a su vez —en núcleos de uranio— nuevas rupturas, y las rupturas de núcleos de uranio pueden ir incrementándose en progresión geométrica con desprendimiento de cantidades extremadamente grandes de energía. Estas cadenas de rupturas sucesivas pueden ramificarse de una manera ilimitada y la reacción puede resultar explosiva.

Se ha buscado, de acuerdo con la presente invención, hacer prácticamente utilizable esta reacción explosiva, no sólo para trabajos de minería y obras públicas, sino también para la construcción de ingenios bélicos, y de una manera general para todos aquellos casos en los que es necesaria una fuerza explosiva.

Para lograr esta utilidad práctica, hay que referirse a la noción de masa crítica o, en general, de condiciones críticas de las que se ha hecho ya mención en la solicitud de patente francesa del 1.º de mayo de 1939 para «Dispositivo de producción de energía».

El arte del físico consiste en escoger de entre los modelos aquél que mejor se adapta a un fenómeno estudiado.

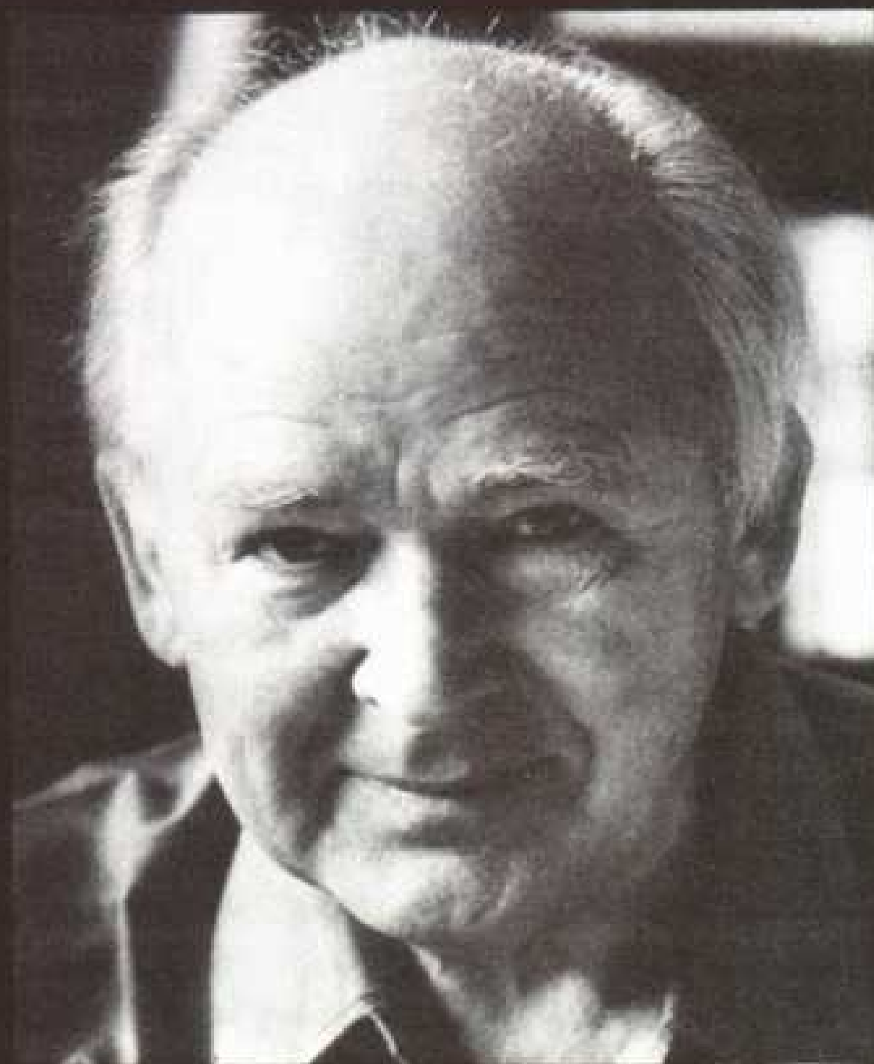
ejemplo tras la absorción de un neutrón por el núcleo bombardeado: es la fisión inducida. La fisión de los núcleos más ligeros que los actínidos es mucho más difícil de provocar y sus consecuencias prácticas son despreciables. Así, pues, la dejaremos de lado aquí. Cuando los fragmentos de fisión quedan formados, en un estadio llamado escisión, se repelen mutuamente por efecto electrostático hasta que llegan a adquirir una energía importante. Además, se desexcitan «al vuelo» emitiendo algunos neutrones, 2,5 por término medio en el caso de la fisión inducida por neutrones lentos en el U^{235}. Estos neutrones pueden provocar a su vez otras fisiones; así es como se establecen las reacciones en cadena y, por tanto, la liberación de cantidades enormes de energía: es la energía nuclear.

Los trabajos que deberían desembocar en el descubrimiento de la fisión suscitaron el mayor interés de los mejores físicos de la época. El descubrimiento del neutrón por Chadwick, en 1932, abría el camino al concepto según el cual el núcleo atómico estaba formado por nucleones: Z protones y N neutrones, siendo el número másico A igual a N + Z. Una etapa más avanzada seguía al poco, la de los modelos nucleares, que son representaciones simplificadas y a menudo gráficas del comportamiento de los A nucleones que constituyen los núcleos. La gran variedad de modelos nucleares es muy desconcertante para el profano. Se los puede clasificar, no obstante, tomando en consideración el recorrido libre medio de los nucleones, es decir, el valor medio del recorrido efectuado por los nucleones entre dos colisiones sucesivas en el interior del núcleo. Poco después de 1932, se empezó por postular que dicha magnitud era grande con respecto a las dimensiones nucleares. Esta hipótesis iba a ser reconsiderada y completada en 1949 por Mayer y Jensen, para desembocar en el «modelo de capas», muy utilizado aún en la actualidad. Pronto aparecieron sin embargo otros modelos que partían de la hipótesis inversa, es decir, la de un recorrido libre medio pequeño frente al diámetro del núcleo. En el modelo del núcleo compuesto de Niels Bohr (1936), válido para describir ciertos estados excitados del núcleo, tales como los que aparecen en la fisión inducida por neutrones, la energía de excitación se distribuye entre un gran número de nucleones. El núcleo adquiere entonces una configuración complicada cuya desexcitación es relativamente larga (entre 10^{-16} y 10^{-15} segundos aproximadamente) a escala de los tiempos nucleares e independiente del modo de formación. Durante el mismo período se ideó otro modelo perteneciente a la misma categoría: el modelo de la gota líquida, en el que el núcleo queda asimilado a una gota de materia líquida. En este caso, las propiedades del núcleo pueden calcularse a partir de las nociones clásicas de energía electrostática y tensión superficial.

El arte del físico consiste en escoger de entre todos estos modelos aquél o aquéllos que mejor se adaptan al fenómeno estudiado. Los conceptos de núcleo compuesto y de gota líquida contienen en germen la predicción del fenómeno de la fisión, que de este modo podría haber sido detectado antes del 1938, ya que se disponía también de los medios experimentales susceptibles de ponerla de manifiesto. Desde 1932, en efecto, se sabía producir neutrones bombardeando berilio con rayos α de la radiactividad natural. Por otra parte, podían detectarse fácilmente los fragmentos de fisión, de gran energía cinética, mediante una cámara de ionización cuyo uso era bien conocido. De hecho, la fisión fue descubierta tan sólo tras una larga serie de tanteos y de ocasiones frustradas y por otro camino, el de la detección radioquímica de los productos de fisión.

En 1934 aparecieron los primeros indicios de radiactividad originados por productos de fisión, aunque éstos no fueron todavía identificados como tales. Aquel año, la radiactividad artificial fue descubierta por Irène Curie y Frédéric Joliot al bombardear aluminio con rayos α. A Enrico Fermi se le ocurrió entonces la idea de confirmar estos trabajos mediante bombardeo de diversos elementos (entre ellos el uranio) por neutrones y observó entonces una radiactividad inducida cuyas características inesperadas iban a desconcertar a la vez a varios radioquímicos de talento. La primera interpretación señaló la posibilidad de la formación de transuránidos, es decir, de núcleos situados más allá del uranio en la tabla periódica de los elementos. Pero la hipótesis no pudo resistir mucho tiempo la prueba de los hechos y hubo que admitir que aquella radiactividad tenía otro origen ¿pero cuál? Trabajando en la formación de elementos de una nueva familia radiactiva, Irène Curie y Pavel Savich irradiaron torio con neutrones y en 1938 descubrieron, entre otros, un núcleo radiactivo que se comportaba como el lantano y desaparecía al cabo de algunas horas. Sin saberlo, estos dos físicos habían detectado un producto de fisión. El mismo año, una etapa





O. Hahn y F. Strassmann. Sus nombres son inseparables del descubrimiento de la fisión, en 1938, en forma de un producto de fisión, el bario. (Fotos: Associated Press, Hanne Zapp-Berghäuser.)



L. Meitner. Colaboradora de Hahn, exiliada en Escandinavia en 1938, comprendió inmediatamente la posibilidad del proceso de fisión gracias al modelo de la gota líquida. (Foto: Keystone.)



D.R. Frisch. Sobrino de Lise Meitner, fue el primero en poner de manifiesto el proceso de fisión por un método físico. (Foto: Niels Bohr Institute.)

suplementaria, la de la identificación del bario por O. Hahn y F. Strassmann tras bombardeo de uranio por neutrones, permitió al fin demostrar la existencia de la fisión nuclear. En cuanto Lise Meitner, entonces exiliada en Escandinavia, supo de los resultados de O. Hahn y F. Strassmann, se dio cuenta de que si se asimilaba a una gota líquida, el núcleo podía romperse en dos fragmentos que, repelidos por su potencial culombiano mutuo, adquirían una gran energía cinética. Esta idea fue inmediatamente comunicada a Niels Bohr quien comprendió entonces que la fisión era simplemente uno de los modos de desexcitación del núcleo compuesto formado en la absorción de un neutrón por el uranio. La confirmación de estos trabajos la aportó poco después O.R. Frisch, quien con una cámara de ionización puso fácilmente de manifiesto el fenómeno de división del núcleo en dos fragmentos de gran energía cinética.(2) Todo se aclaraba, al menos a grandes rasgos, y el hallazgo sería precisado, desarrollado y formulado en un famoso artículo de N. Bohr y J.A. Wheeler.(3)

Tras esta primera fase, los trabajos relativos a la fisión fueron dominados por las aplicaciones energéticas, cuyo enorme interés había sido ya previsto por F. Joliot y su equipo.(4) De hecho, estas predicciones iban a recibir pronto una brillante confirmación. El primer reactor nuclear fabricado por el hombre entró en funcionamiento en Chicago en 1942, bajo la dirección de Fermi, demostrando así la posibilidad de utilizar la fisión para producir energía con fines civiles. Por otra parte, los gigantescos trabajos llevados a cabo en el marco del célebre «proyecto Manhattan» llevaron, en 1945, a la primera explosión atómica en Alamogordo (Nuevo México, Estados Unidos). Este ingenio nuclear de fisión pura inició la era de los armamentos nucleares cuya importancia no es preciso mencionar. No resulta, pues, sorprendente que los considerables desarrollos de la energía y los armamentos nucleares (el átomo «civil» y «militar») secuela de aquellos acontecimientos, hayan influido fuertemente en la opinión pública, que no los ha disociado del fenómeno fundamental del que nacieron.

Durante la segunda guerra mundial, e incluso hasta 1955, el objetivo de los estudiosos de la fisión consistía básicamente en obtener, mediante medida o cálculo, los datos nucleares necesarios para concebir los dispositivos destinados a producir energía, en forma continua y controlada (reactores nucleares), o de manera súbita (explosivos nucleares). De entre estos datos, citemos las secciones eficaces de fisión que dan la probabilidad de que un neutrón de energía dada provoque una fisión en un núcleo blanco dado. Aunque conoció progresos técnicos y científicos fulminantes,(5) este período no fue muy propicio a profundizar en el fenómeno de la fisión, debido a que la rapidez con la que debían obtenerse los resultados no favorecía mucho las especulaciones más fundamentales. Además, el secreto de los trabajos era absoluto. El Centro de Los Álamos, por ejemplo, estuvo durante mucho tiempo aislado del resto del mundo, que desconocía incluso su existencia. Sólo a partir del primer congreso de Ginebra, en 1955, empezaron a divulgarse ampliamente los numerosos datos así obtenidos. Pero junto a estas razones ligadas al contexto histórico e independientemente de ellas hay otra más sutil que procede de la complejidad del proceso de fisión, el cual pone en juego estados extremadamente deformados del núcleo cuyo estadio final es la escisión. Los conocimientos de la época, sin embargo, se limitaban a un número reducido de núcleos en un estado esférico o poco deformado. No permitían, pues, tratar con precisión las diferentes etapas de la fisión. Sin duda, el modelo de la gota líquida era muy útil para simular grandes deformaciones, pero era y sigue siendo demasiado tosco, pues es un modelo clásico que no tiene en cuenta los efectos cuánticos, que, como veremos más adelante, pueden ser importantes. Por todas estas razones, la fisión quedó separada durante un largo período de la física nuclear tradicional.

A partir de 1955, esta situación iba a evolucionar progresivamente. Por una parte, la física nuclear amplió su campo de investigación para abordar aspectos nuevos y más «exóticos» de la materia nuclear, sobre todo en el plano de la deformación. Por otra, el estudio de la fisión se desentendió parcialmente de las aplicaciones para abordar aspectos más fundamentales hasta entonces descuidados. Esta aproximación se concretó de manera espectacular durante los años 1960, cuando fueron descubiertos varios aspectos insospechados del fenómeno de la fisión, mutuamente independientes y en laboratorios distintos, que no pudieron ser explicados al instante. Paralelamente, cálculos más precisos de la energía de ciertos estados nucleares muy deformados desembocaron también, algo más tarde, en resultados inesperados que permitían súbitamente explicar, de manera global y sintética, estos resultados

(2) O.R. Frisch, *Nature, 143,* (1939), 276.
(3) N. Bohr, J.A. Wheeler, *Phys. Rev., 56,* (1939), 426.
(4) Frédéric e Irène Joliot-Curie, *Oevres Scientifiques Complètes,* P.U.F.
(5) B. Goldschmidt, *La Recherche,* n.º 131, marzo 1982, p. 366.
(6) A. Michaudon, *Advances in Nuclear Physics,* vol. 6, (1973) p. 1, Plenum Press; *Proceedings of the International Conference on Interactions of Neutrons with Nuclei,* ERDA Report CONF-760715-P1, 641; Nota CEA-N- 2232 (1981).





N. Bohr y J.A. Wheeler. Fueron los primeros en proponer un marco teórico sólido para describir el fenómeno de la fisión y sugirieron que el U^{235} es el único isótopo fisible contenido en el uranio natural. (Fotos: Keystone, Ulli Stelter.)



F. Joliot. Dedicado muy pronto a los trabajos que conducirían a la fisión, puso de manifiesto la emisión de los neutrones de fisión y las considerables aplicaciones energéticas que de este proceso podían derivarse. (Foto: Institut Curie.)



V. Strutinski. Elaboró un método que lleva su nombre y que permite obtener una barrera de fisión precisa e inédita combinando las propiedades macroscópicas y microscópicas del núcleo.

Durante largo tiempo, la historia de la fisión y la de su barrera han seguido el mismo camino.

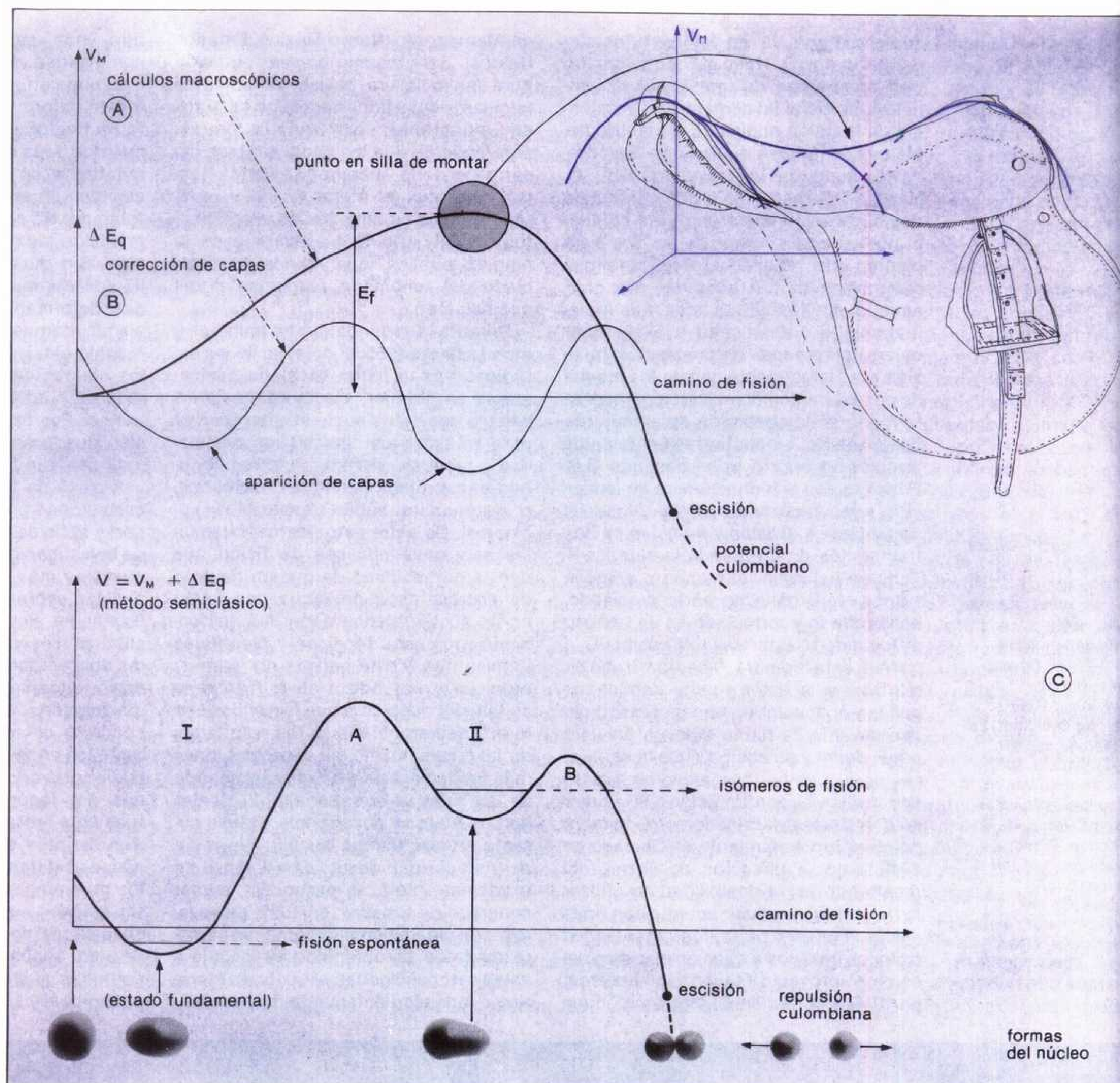


Figura 1. A. La energía potencial de un núcleo pesado (Z > 89) viene representada de manera simple en función de la deformación, tal como se calcula a partir del modelo macroscópico de la gota líquida. La abscisa representa el conjunto de la deformación tomada globalmente para todos los estados intermedios entre la forma esférica y la escisión, es decir, a lo largo del camino de fisión. Más abajo aparecen representadas las formas del núcleo para distintos valores de la abscisa. Al escindirse, el núcleo está constituido por dos fragmentos en contacto, prestos a separarse. La energía potencial se presenta entonces como una barrera que el sistema tiene que superar para fisionarse; de donde, el nombre de barrera de fisión. El máximo corresponde de hecho a un puerto, ya que es un mínimo en función de los demás parámetros de deformación. Se le llama frecuentemente punto en silla de montar debido a que la superficie de energía potencial se asemeja a dicho útil hípico en un espacio de tres dimensiones (por lo tanto, en función de dos parámetros de deformación). La altura del punto en silla de montar con respecto al estado fundamental es la de la barrera: es del orden de 6 MeV para los núcleos de la familia de los actínidos. La barrera de potencial se interrumpe en la escisión; más allá, la energía potencial corresponde al potencial de Coulomb entre los dos fragmentos.
B. Para establecer la barrera de fisión de un modo más preciso, se admite que el núcleo se comporta «casi» como un sistema clásico. El «casi» se traduce por una corrección cuántica ΔE_q a lo largo del camino de fisión, en el método empleado generalmente hoy: el de Strutinski. Esta corrección varía con el estado cuántico del núcleo en función de la deformación. Una de estas manifestaciones es la aparición de capas correspondientes al agrupamiento de los niveles de energía cuantificados de los nucleones. (véase fig. 3). Cerca de una capa el núcleo es más estable (está más «ligado») de lo que cabría esperar de acuerdo con el modelo de la gota líquida, lo que conduce a una corrección negativa. Entre las capas, por el contrario, el núcleo está menos ligado y la corrección cuántica es positiva. Se llega así a una corrección ΔE_q que presenta un carácter oscilatorio en función de la deformación.
C. Para el cálculo de la barrera de fisión de un núcleo de la familia de los actínidos, la combinación de la energía potencial macroscópica V_M y la corrección cuántica ΔE_q lleva a una barrera más complicada que la macroscópica V_M trazada en A. La primera corrección negativa provoca un primer mínimo, que corresponde al estado fundamental del núcleo, el cual resulta entonces deformado conforme a la experiencia. Para una deformación próxima a la del punto en silla de montar macroscópico, además, aparece una segunda corrección negativa que provoca así un segundo mínimo y un desdoblamiento de la barrera en dos máximos A y B; el primero es más bajo que el segundo en el caso de los actínidos ligeros y a la inversa en el caso de los actínidos pesados. Esta forma tiene importantes consecuencias para los mecanismos de fisión descritos en el artículo. En algunos casos, como con los isótopos del torio, las formas pueden ser todavía más complicadas (véase fig. 6).

experimentales.[6] Tales son los acontecimientos que nos proponemos presentar en este artículo, junto con su proyección actual.

El papel capital de la barrera de fisión

Durante largo tiempo, la historia de la fisión coincidió prácticamente con la de la barrera de fisión, que es un caso particular del concepto de barrera de potencial, esencial para la comprensión de la mecánica cuántica y, por consiguiente, de la física nuclear. Así la barrera culombiana entre dos núcleos cargados positivamente por la presencia de protones traduce su repulsión electrostática mutua y se opone a su acercamiento. En mecánica clásica, un sistema sólo puede atravesar una barrera de potencial cuando su energía total es superior a la altura de dicha barrera. En caso contrario, el franqueo está rigurosamente prohibido, aunque se vuelve posible si se recurre a la mecánica cuántica. El fenómeno se conoce como «efecto túnel». Un núcleo que se fisiona encuentra también una barrera de potencial; su representación, sin embargo, es más difícil de captar porque aparece en función de la forma del sistema. En el curso de su evolución, este sistema pasa por una gran variedad de formas intermedias entre la del estado inicial, próxima a la esfera, y la de la escisión, compuesta por dos fragmentos distintos pero en contacto. La descripción del proceso de fisión exige conocer tanto la forma como la energía de cada una de dichas etapas intermedias. La forma puede definirse a partir de ciertos parámetros de deformación {s} convenientemente escogidos. Si, por ejemplo, el núcleo tiene la forma simple de un elipsoide de revolución, basta un solo parámetro, el cociente entre los radios máximo y mínimo. La energía potencial V ({s}) de un núcleo que se fisiona varía en función de su forma {s} análogamente a como lo hace la energía culombiana de dos esferas cargadas eléctricamente en función de su distancia mutua. Así aparece el concepto de «superficie de energía potencial» V ({s}) en el espacio multidimensional de los parámetros de deformación {s}. La evolución del sistema entre el estado inicial y la escisión puede representarse entonces mediante una curva de esta superficie llamada camino de fisión.

La variación de la energía potencial a lo largo del camino de fisión se parece a la de una barrera, la barrera de fisión. En las proximidades del estado inicial, en efecto, la energía aumenta al principio en función de la deformación pero luego vuelve a disminuir antes de llegar a la escisión con el fin de que pueda producirse la ruptura del núcleo. En algún punto de este intervalo, la energía

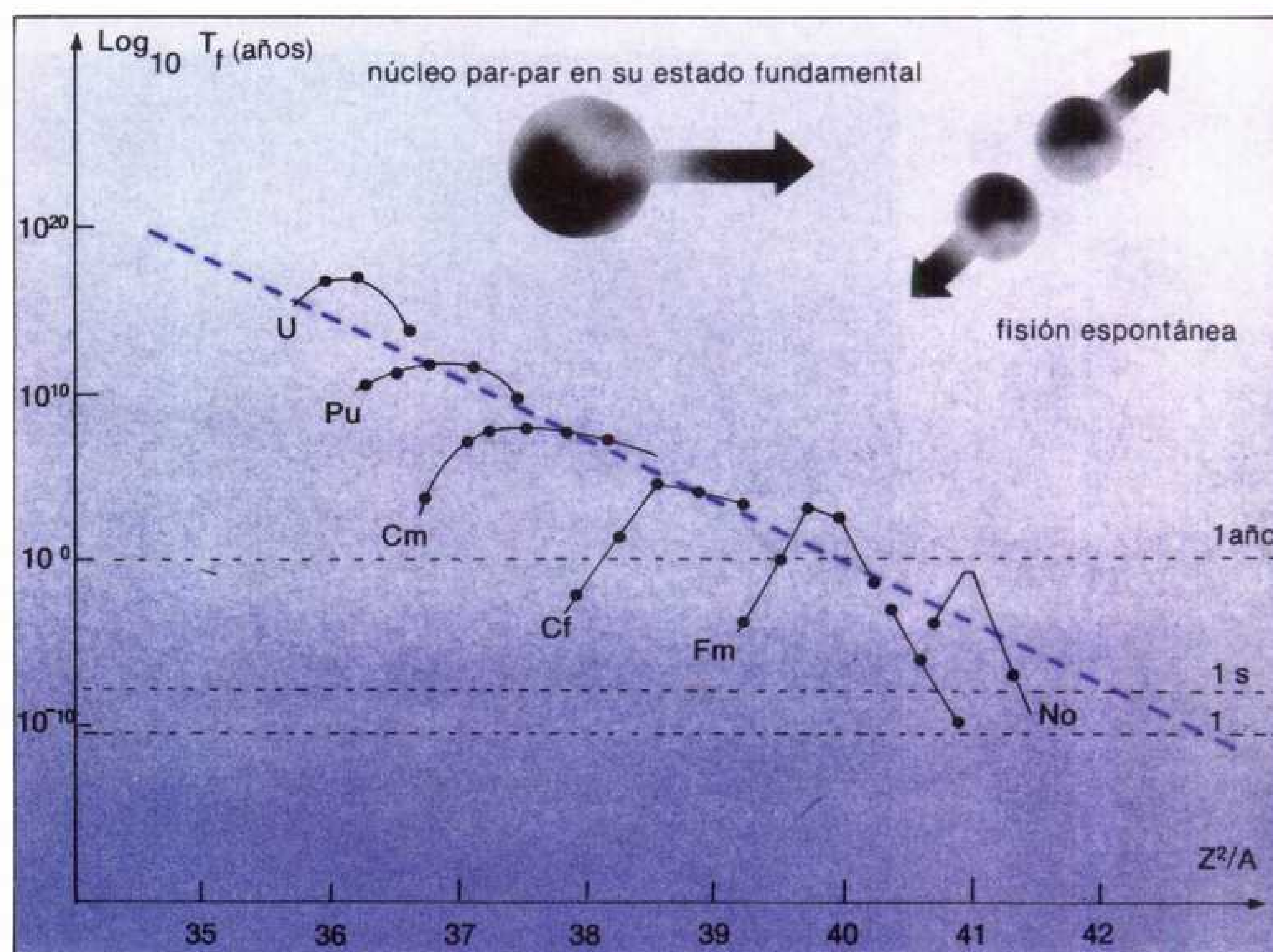


Figura 2. **Se han medido los periodos de fisión espontánea T_f en función del parámetro de fisibilidad Z^2/A descrito en el texto. El periodo de fisión espontánea de un núcleo proporciona una estimación global de la penetrabilidad de su barrera de fisión; cuanto mayor es aquél menor es ésta. Los puntos negros (•) corresponden a núcleos par-par (es decir, con un número par de protones y de neutrones) en el estado fundamental. Las líneas de trazo continuo unen los resultados para distintas familias de isótopos. Los núcleos impares, que dan lugar a efectos más complicados, no han sido representados aquí. La línea discontinua (– – –) representa un decremento medio tal como podría obtenerse a partir de un modelo macroscópico. Para cada familia de isótopos, el máximo es tanto más pronunciado cuanto mayor es Z, y se debe a la estructura en capas de los núcleos.**

potencial presenta un máximo cuyo valor, con respecto al estado fundamental, es la altura E_f de la barrera. En las proximidades de este máximo, la superficie de energía se parece a un puerto montañoso, llamado también punto en silla de montar dada su semejanza con este útil de la hípica (fig. 1).

Después de la escisión, los dos fragmentos se repelen por efecto electrostático ya que, por su corto alcance, las fuerzas nucleares no desempeñan ya ningún papel. La energía potencial del sistema decrece entonces a tenor del potencial culombiano entre los dos fragmentos. La escisión señala así la transición entre dos sistemas de representación de la energía potencial: primero, el de los parámetros de deformación y luego, el del espacio ordinario. La barrera de fisión desempeña un papel capital en las propiedades del fenómeno de la fisión, no sólo para la fisión espontánea sino también para la fisión inducida por neutrones de baja energía. En este último caso, el sistema que se fisiona se forma en un estado excitado cuya energía E^*, con respecto a la del estado fundamental, se llama energía de excitación y varía de un núcleo a otro, según la estructura nuclear típica de cada uno de ellos. Dicha energía, por ejemplo, es siempre mayor cuando el núcleo compuesto contiene un número par N de neutrones. Ello es debido a la fuerza de emparejamiento que se ejerce entre pares de neutrones (o de protones), aumentando así la estabilidad del núcleo. Globalmente, la fuerza de emparejamiento tiene un mayor efecto estabilizador para núcleos con N par (y Z par), porque se ejerce entonces sobre todos los neutrones (y protones). Los sistemas con N par, formados por absorción de un neutrón de baja energía por un núcleo blanco con N impar, poseen entonces una energía E^* superior a E_f y se fisionan fácilmente. A dichos núcleos-blancos se les llama fisibles. La energía E^* de los sistemas con N impar, por el contrario, es inferior a E_f y aquéllos se fisionan mucho más difícilmente por efecto túnel a través de la barrera de fisión. Al fenómeno se le llama fisión por debajo del umbral y los núcleos-blancos correspondientes se dicen no fisibles, calificativo algo excesivo habida cuenta de que, con todo, experimentan la fisión inducida aunque con una probabilidad muy inferior a la de los núcleos fisibles. En la naturaleza hay un solo núcleo fisible, el U^{235} (con N = 143, por lo tanto impar), pero está íntimamente mezclado con otro isótopo del uranio, el U^{238} (con N = 146, por lo tanto par). Es posible producir artificialmente otros núcleos fisibles, como por ejemplo el Pu^{239} (con N = 145), pero en cantidades tanto menores cuanto más pesados son.[5]

Fue un físico soviético, V.M. Strutinski, quien en 1967 propuso el modelo utilizado en la mayoría de los trabajos actuales.

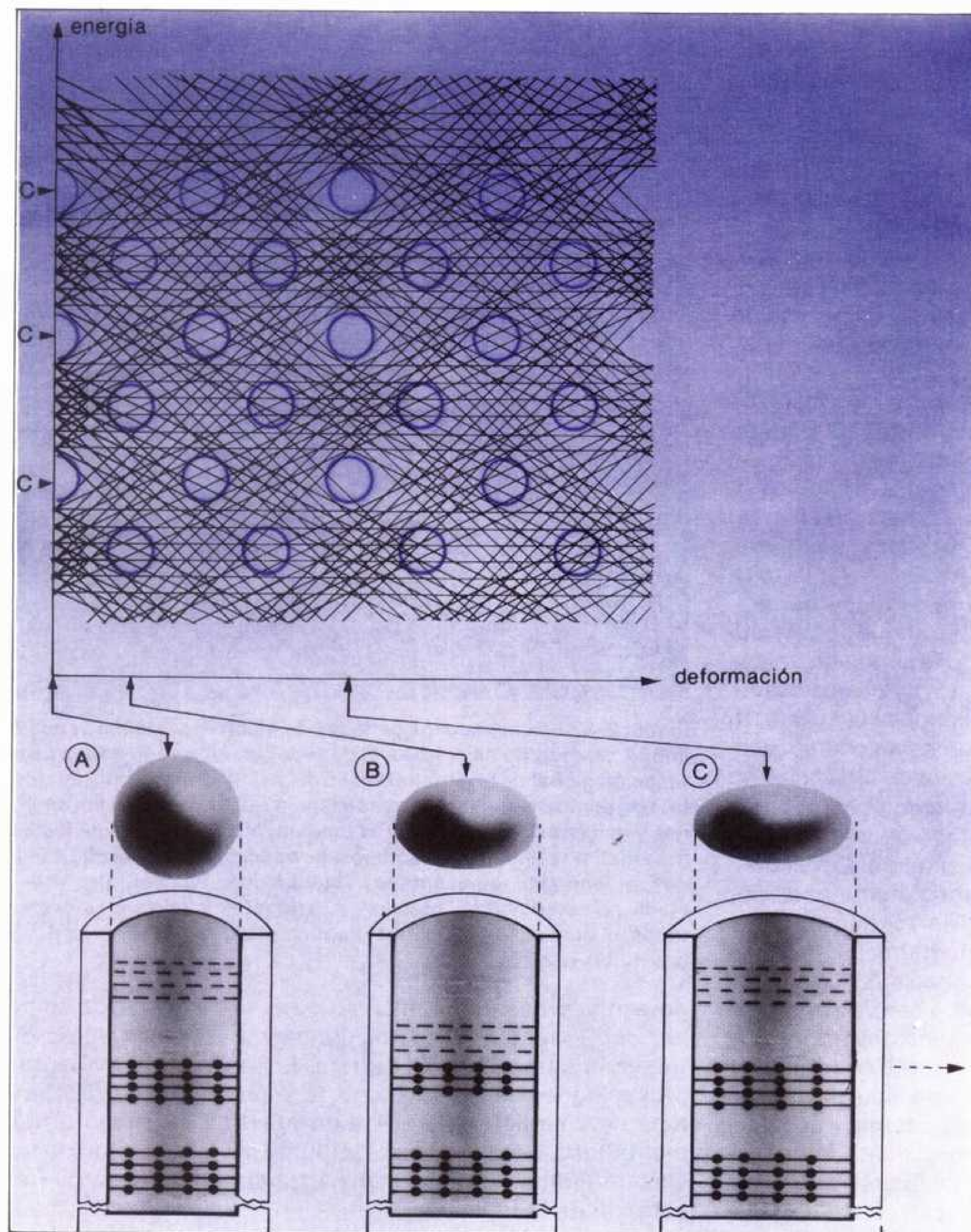


Figura 3. **La estructura en capas de los núcleos se postuló al principio para núcleos esféricos (C→) o poco deformados (Mayer y Jansen, 1949). Cuando el núcleo se deforma, los niveles de nucleones se dispersan y mezclan, con lo que la estructura en capas se desdibuja. A V.M. Strutinski corresponde el gran mérito de haber imaginado que dicha estructura puede reaparecer para deformaciones más importantes (los círculos de nuestro diagrama). Para un núcleo mágico (C→) el fenómeno queda ilustrado en la parte inferior de la figura. Damos el esquema del potencial nuclear para 3 deformaciones, con sus niveles de nucleones ocupados (—•—•—) o vacíos (— — —). Para la forma esférica** (A) **la capa superior está llena: de ahí la gran estabilidad de aquélla. En** (B) **la capa está incompleta, vuelve a estar llena en** (C) **y así sucesivamente. En los actínidos se presenta el mismo efecto, aunque en menor escala y desplazado en función de la deformación. Los diagramas están muy esquematizados con el fin de facilitar la discusión.**

La barrera de fisión varía también de un núcleo a otro, pero de una manera diferente y más compleja, pues hay que determinar la energía de todos los estados deformados a lo largo del camino de fisión, cosa muy difícil, sobre todo en ausencia de modelos nucleares adecuados. El método macroscópico, basado en el modelo de la gota líquida, fue el único posible durante largo tiempo, por lo que fue usado a pesar de sus limitaciones. El método microscópico, aparecido tras la creación en 1949 del modelo de capas, progresa desde entonces con regularidad, sin haber llegado todavía a dar satisfacción plena. Los progresos más importantes fueron obtenidos en 1967 con un método mixto, que combina los aspectos macroscópicos con los microscópicos y que sigue siendo hoy el mejor. Vista la importancia de la barrera de fisión para la comprensión de este fenómeno, vamos a examinar con mayor detalle estos métodos y sus consecuencias.

Un compromiso feliz entre lo macroscópico y lo microscópico

El método macroscópico, ilustrado por el modelo de la gota líquida, asimila el núcleo a un sistema clásico sin pre cuparse por su estructura interna, mu influida por los efectos cuánticos. S duda, este veterano de los modelos r sulta tosco, pues no tiene en cuen dichos efectos; sin embargo, a pesar d sus imperfecciones, llega a reproduc con bastante fidelidad algunos grand rasgos de las propiedades de los n cleos. Así, la masa de éstos pudo s calculada muy pronto (1935) en el est do fundamental, supuesto esférico, m diante la famosa fórmula de masa d Weizsäcker. Los cálculos arrojan resu tados correctos en promedio para conjunto de los núcleos, salvo para a gunos en los que los efectos cuántico son relativamente importantes.

En el estudio de la fisión, este model se utiliza para un núcleo dado con el fi de calcular su energía potencial, no s lo para la forma esférica como en la fó mula de Weizsäcker, sino para todas la formas del camino de fisión. Los cálc los reflejan la pugna entre la tensión s perficial, por una parte, que al ser pr porcional a la superficie del núcle aumenta con la deformación, y l energía culombiana, por otra, que al se parar los protones disminuye con la d formación. La primera desempeña u papel estabilizador, ya que se opone la deformación, mientras que la segu da, por contra, favorece la deformació y, por consiguiente, la dislocación d núcleo. El cociente entre la energía d Coulomb y la de tensión superficial e proporcional a Z^2/A para un núcleo esfé rico de volumen proporcional al númer másico A. Se le llama parámetro de fis bilidad, pues da cuenta de la facilida con la que un núcleo puede fisionars tanto mayor cuando más elevado e Z^2/A. Es posible evaluar la validez glob de este parámetro examinando la pr babilidad de fisión espontánea de cie tos núcleos en su estado fundament (fig. 2). La barrera de fisión obtenida e 1939 con dicho modelo posee una form simple, pues comporta un solo punto e silla de montar en el que la tensión s perficial ha aumentado en 106 Me mientras que la energía culombiana h disminuido en cerca de 100 MeV co respecto a la forma esférica (para la fi sión inducida en el U^{235} por neutrone térmicos). Lo reducido de la altura de l barrera de fisión procede pues de un pequeña diferencia entre dos efecto importantes. Una precisión de 100 ke en esta altura exige, de hecho, una pre cisión superior a 1/1000 en cada uno d dichos efectos, precisión extraordinari en los cálculos de estructura nuclear absolutamente inaccesible para un m delo tan rudimentario como el de la g ta líquida, pese a todos los refinamien tos experimentados desde su introduc ción. Estos refinamientos tampoco bas

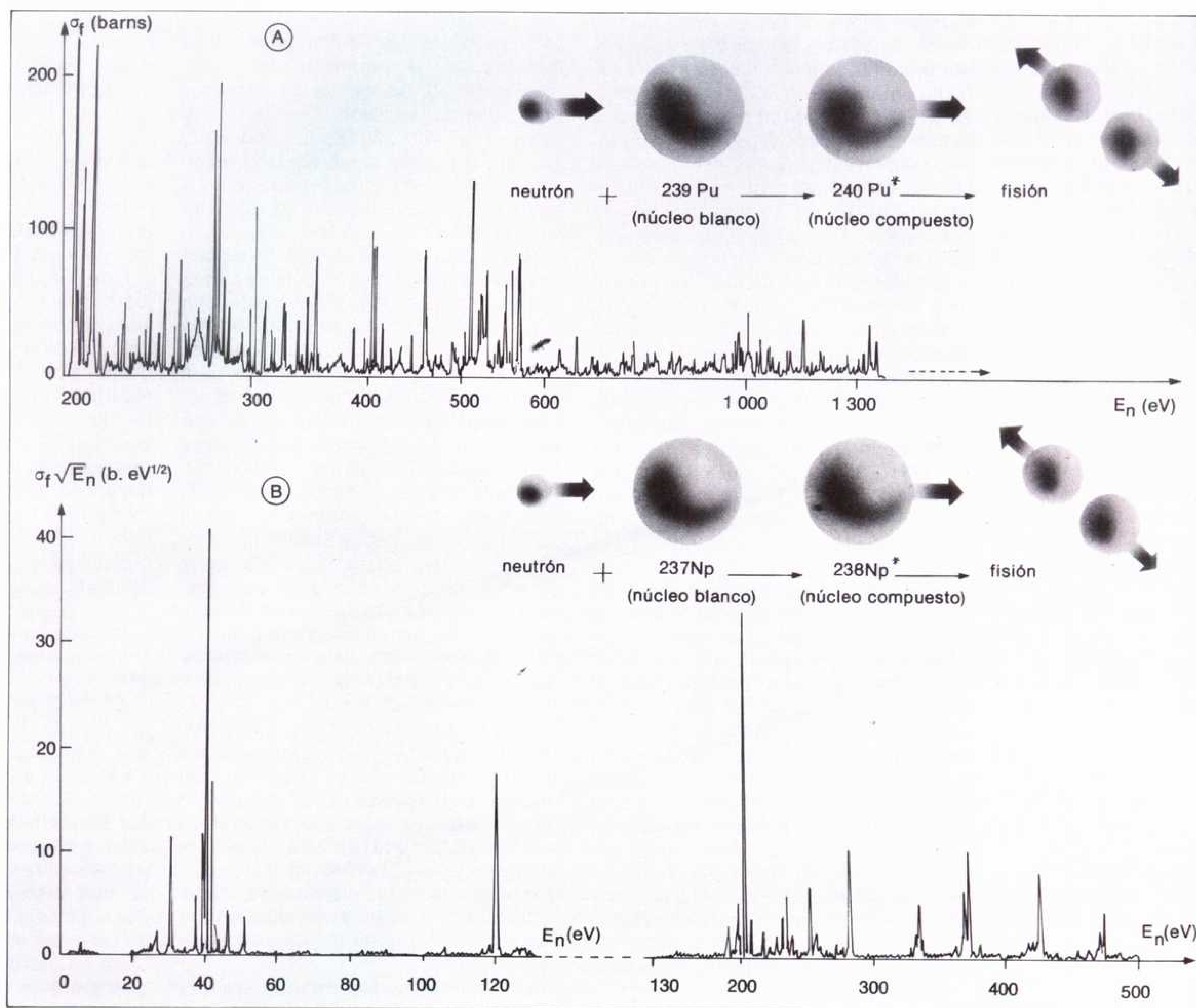


Figura 4. A. **La sección eficaz de fisión del Pu^{239}, núcleo fisible, ha sido medida en Saclay con una resolución muy fina. Por falta de espacio, sólo la hemos representado aquí entre 200 y 1 300 eV. Aparecen numerosas resonancias, de amplitudes y formas variables, distribuidas de modo relativamente uniforme en función de la energía, aunque cada vez peor separadas cuando la energía aumenta debido al incremento de la función de resolución experimental. El análisis de todas estas resonancias, debidas a estados del núcleo compuesto de Pu^{240} que se fisionan, permite precisar el fenómeno de la fisión.**
B. **La sección eficaz de fisión del Np^{237}, núcleo llamado «no fisible» debido a que su probabilidad de fisión es muy reducida, ha sido medida también en Saclay con la misma resolución; la representamos aquí en función de la energía del neutrón incidente $\sqrt{E_n}$, tras haberla multiplicado por E_n. Las resonancias de fisión aparecen sólo cerca de determinadas energías (40 eV, 120 eV, etc.), contrariamente a las del Pu^{239} (véase A). Así, no aparece ninguna resonancia de fisión de manera significativa entre 50 eV y 115 eV, mientras que hay unas cien en la sección eficaz total para la misma gama de energía. En el grupo de 40 eV, la resolución es lo bastante fina para poder distinguir las resonancias componentes. A mayor energía, por contra, la resolución se deteriora y las distintas componentes de cada grupo son cada vez más difíciles de separar. Estos resultados demuestran la existencia de un mecanismo particular de fisión en el que la probabilidad de fisión se vuelve bruscamente más intensa a ciertas energías: 40 eV, 120 eV, etc., donde aparecen los grupos de resonancias.**

tan para explicar algunos resultados de la fisión, cada vez más numerosos, que discutiremos más adelante.

A diferencia del anterior, el método microscópico es una consecuencia natural del modelo de capas y trata el núcleo como un sistema cuántico de A nucleones e interacción. Por su fundamento, este método es con mucho el mejor y más satisfactorio, aunque en la práctica se enfrenta a grandes dificultades. La interacción nucleón-nucleón, en efecto, es muy compleja, y para estudiarla es preferible recurrir a la fenomenología que a los principios fundamentales. El método sigue siendo impreciso, sobre todo para estados muy deformados. Además, los cálculos de estructura nuclear saturan rápidamente los ordenadores más potentes cuando se efectúan para núcleos pesados deformados. Sin embargo, dicho método experimenta un progreso regular y en 1973 proporcionó por primera vez una barrera de fisión, la del Pu^{240}. Desde entonces, se han logrado con él otros resultados, muy interesantes desde el punto de vista fundamental, pero sin alcanzar aún la fantástica precisión exigida.

En 1967, el físico soviético V.M. Strutinski, consciente de las dificultades considerables del enfoque microscópico, tuvo la idea de mejorar el método macroscópico mediante un método semiclásico, obtenido combinando de una manera simple los aspectos clásicos y cuánticos del núcleo.[7] Este método estaba inicialmente destinado a prever las propiedades de estabilidad de los lla-

(7) V.M. Strutinski, *Nucl. Phys., A 95*, (1967), 420.

La construcción de fuentes de neutrones hizo posible la profunda renovación de la física nuclear de los años 1960.

mados núcleos «superpesados», de número másico ($A \simeq 300$) netamente superior al de todos los núcleos conocidos. Dicha estabilidad postulada sería debida a efectos cuánticos, que entonces habría que precisar. A pesar de lo intenso de las investigaciones, estos núcleos no han podido ser observados. Aplicado a la fisión, el método condujo, no obstante, a ciertos resultados espectaculares, que vamos a presentar.

La hipótesis fundamental, que constituye la base de los trabajos de V.M. Strutinski, consiste en postular que los núcleos pesados se comportan casi como sistemas clásicos. Su energía (o su masa) puede calcularse aproximadamente a partir de un modelo macroscópico, siendo relativamente pequeñas las correcciones impuestas por los efectos cuánticos. El postulado no parece carecer de base en el caso de núcleos en el estado fundamental, pues ya hemos visto el interés de la fórmula de masa de Weizsäcker. Pero la hipótesis de V.M. Strutinski no sólo se aplica a las formas esféricas o casi esféricas, sino también, y sobre todo, a la amplia variedad de estados deformados que se encuentran a lo largo del camino de fisión. Ello no carece tampoco de plausibilidad, pues la probabilidad de fisión espontánea sigue por término medio las predicciones del modelo de la gota líquida (fig. 2). De acuerdo con esta hipótesis, la energía potencial, para cualquier deformación $\{s\}$, es la suma de una energía macroscópica $V_M(\{s\})$ predominante y de una pequeña corrección cuántica $\Delta E_q(\{s\})$ que permite paliar las insuficiencias del modelo macroscópico y que precisamos a continuación.

Uno de los efectos cuánticos nucleares es la aparición de capas. En el modelo de capas, en efecto, los nucleones se mueven independientemente unos de otros en el interior de un potencial nuclear debido al conjunto de los mismos nucleones. El movimiento de los nucleones obedece a las leyes de la mecánica cuántica y sus niveles de energía están cuantificados, es decir, sólo pueden tomar ciertos valores discretos $\epsilon_1, \epsilon_2..., \epsilon_i$ en contradicción con el modelo clásico. Estos valores ϵ_i, no se distribuyen uniformemente en función de la energía, sino que se agrupan en las llamadas capas (capas energéticas, por supuesto), separadas por huecos, es decir, por intervalos de energía sin niveles. Así, el núcleo, considerado como un sistema cuántico, está formado por los A nucleones que ocupan todos los niveles de energía, a partir de los más bajos y a razón de uno por nivel hasta el nivel más elevado ϵ_F, llamado de Fermi. Cuando este nivel corresponde a la ocupación completa de una capa, el núcleo presenta una gran estabilidad, análoga a la de los átomos de los gases nobles en física atómica. Con el potencial nuclear, la ocupación de las capas se presenta para ciertos números llamados mágicos: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, etc., que corresponden a los núcleos mágicos (los números 2, 8,..., se refieren a neutrones, a protones o a los dos a la vez, como en P^{208}_{82} (con N = 126)).

Hasta los trabajos de V.M. Strutinski se admitía generalmente que las capas aparecen sólo en los núcleos esféricos o poco deformados, como los núcleos conocidos en su estado fundamental. Esta suposición se basaba en que, para deformaciones más importantes del potencial nuclear, los niveles de energía se separan unos de otros, mezclándose y pareciéndose entonces a la distribución uniforme de un sistema clásico. El gran mérito de V.M. Strutinski estribó en postular que las capas pueden reaparecer de manera cíclica en función de la deformación cuando ésta es importante, aunque para números posiblemente distintos de los mágicos (fig. 3). La corrección cuántica está directamente ligada a la existencia de las capas. Efectivamente el modelo de la gota líquida se ajusta a las propiedades medias de los núcleos, cerca y lejos de las capas. Cuando la deformación del núcleo corresponde a la ocupación completa de una capa, la estabilidad de aquél es mayor que la media y la corrección ΔE_q es negativa. Entre las capas, por el contrario, resulta positiva. Dicha corrección presenta, pues, un carácter oscilatorio a lo largo del camino de fisión (fig. 1β).

La combinación de la energía macroscópica V_M y de la corrección cuántica ΔE_q conduce a resultados interesantes para los núcleos de la familia de los actínidos. Para la forma esférica, la corrección ΔE_q es positiva ya que estos núcleos están alejados de los núcleos mágicos. Al avanzar por el camino de fisión, esta corrección presenta un primer mínimo en un punto en el que V_M ha aumentado muy poco. En una representación multidimensional, este mínimo corresponde de hecho a un pozo, el primer pozo de la barrera de fisión. El estado fundamental del núcleo es el estado más bajo situado en el fondo de este pozo y de acuerdo con la experiencia, está deformado, al menos en el caso de los actínidos. Esta corrección explica muy bien tanto las diferencias de masa de los núcleos con respecto a las predicciones del modelo de la gota líquida como las variaciones finas de los períodos de fisión espontánea (fig. 2). La segunda corrección negativa aparece en las proximidades del punto en silla de montar macroscópico y provoca un segundo mínimo, es decir, un segundo pozo en la representación multidimensional. La demás correcciones se producen dem siado lejos para que puedan desemp ñar algún papel, al menos en los cas aquí tratados. Se llega así a una barre de fisión con dos máximos, capaz de r solver varios enigmas, que vamos a ex minar pronto, del proceso de fisión. Pa ra facilitar las discusiones ulteriores lla maremos barreras A y B a las barrera interna y externa respectivamente.

Este médoto semiclásico carece d justificación rigurosa desde el punto d vista fundamental. Al mezclar dos m delos, el de la gota líquida y el de capa basados en hipótesis contradictoria resulta incluso desconcertante. Pero s ha impuesto rápidamente como el má preciso y su empleo, actualmente gen ralizado, contiene infinitos matices qu dependen de la elección precisa de lo modelos.[8] Ciertos refinamientos co ducen incluso a formas aún má complicadas, que estudiaremos má adelante.

Cuando un núcleo acaba en el segundo pozo

En 1962, es decir, varios años ante del cálculo de la barrera de fisión co dos máximos, se obtuvo un resultad inesperado en el laboratorio de Dubn (Unión Soviética).[6,9] El equipo dirigid por Flerov había iniciado ya una larg carrera hacia el descubrimiento de ele mentos cada vez más pesados, en pug na con el gran laboratorio competido de Berkeley (Estados Unidos). En el cur so de estas investigaciones, al proyec tarse un haz de iones de neón acelera dos sobre un blanco de uranio se des cubrió que uno de los productos d reacción se desexcitaba con un períod de 14 ms. Una exploración metódica de fenómeno llevó rápidamente a l conclusión de que procedía del núcle Am^{242}. Sin embargo, el período de fisió espontánea de este núcleo en el estad fundamental es muy superior al valo observado de 14 ms (fig. 2). Se estudió pues, la hipótesis de su formación en u estado isomérico. La isomería había si do predicha desde hacía tiempo por lo teóricos, cuando fue descubierta e 1938 (el año de la fisión) para un isótop del protoactinio Pa^{234}. Un estado isomé rico es un estado poco excitado de núcleo, de vida larga, cuyo estado cuán tico difiere mucho del correspondient al estado fundamental. Esta vida larga característica de la isomería, se debe a que la desexcitación del nivel excitado hacia el estado fundamental, por emi sión de un rayo γ, queda fuertemente re tardada por ciertas reglas de selección que influyen tanto más cuanto menor es la energía y más distintos son los dos estados cuánticos. En estas condi

(8) J.R. Nix, *Ann. Rev. Nucl. Sc.*, *22* (1972), 65.
(9) S. Polikanov y otros, *Zh. Eksperim. i Teoret. Fiz.*, *42* (1962), 1464.

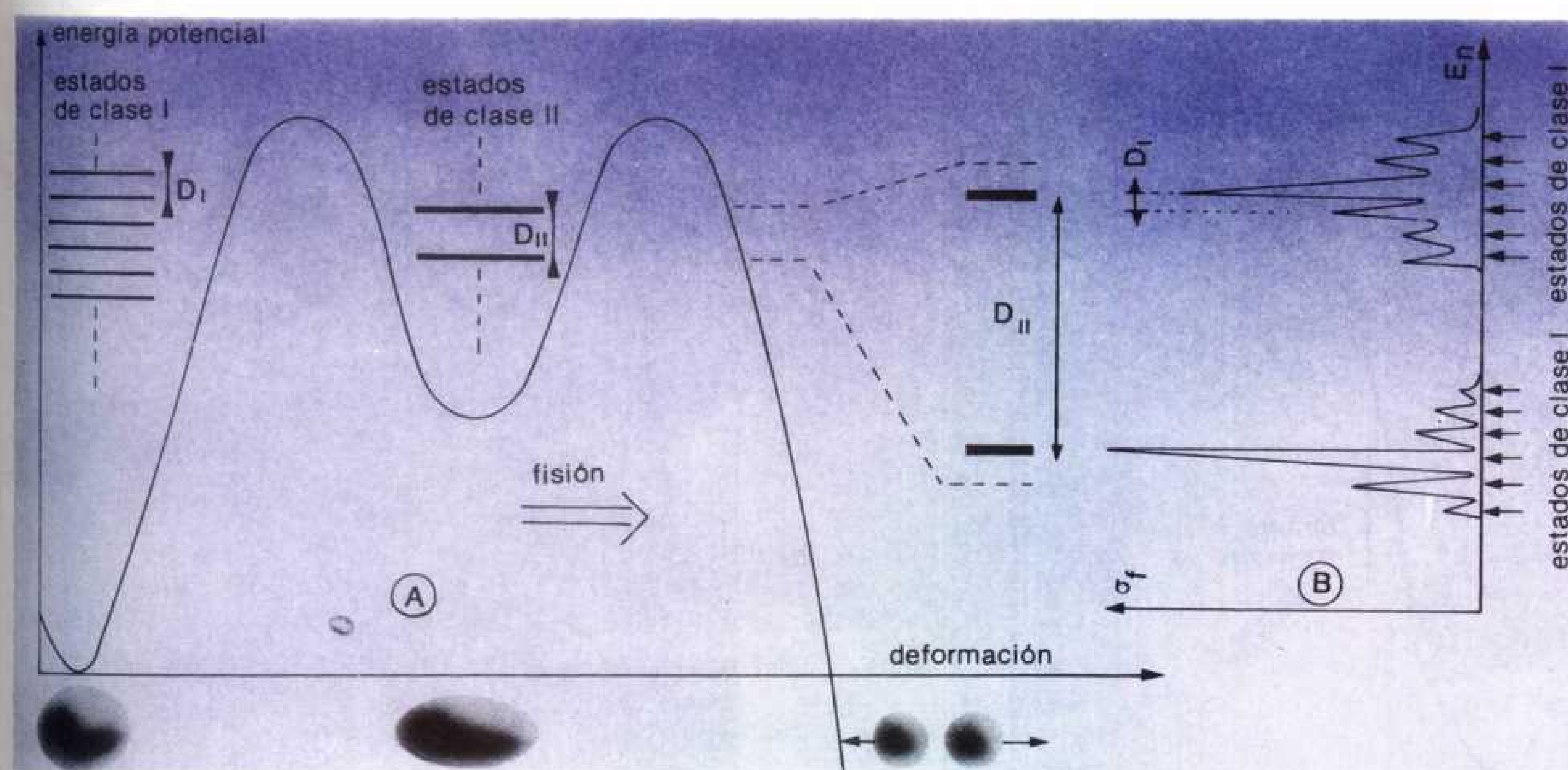


Figura 5. **El mecanismo de la figura permite explicar el fenómeno de estructura intermedia tal como el representado en la figura 4B para el Np^{237}. En el segundo pozo de la barrera de potencial, esquematizada en (A), puede haber estados del núcleo compuesto llamados de clase II, para distinguirlos de los estados del núcleo compuesto de clase I en el primer pozo. Estos últimos son más densos que los primeros ya que la energía disponible en el primer pozo es mayor que en el segundo. Los estados de clase II se fisionan mucho más fácilmente que los de clase I, pues para hacerlo deben atravesar tan sólo el máximo exterior y no la totalidad de la barrera. Cuando estados de clase I, que están muy próximos, presentan una energía próxima a la de un estado de clase II y los mismos números cuánticos, su probabilidad de fisión aumenta bruscamente (véase (B)) debido al efecto de un estado de clase II que los «atrae» hacia la fisión. Este efecto «amplificador» hacia la fisión se produce sólo en las proximidades del estado de clase II y para los estados de clase I con los mismos números cuánticos que aquél.**

ciones, un estado isomérico no puede presentar un período de fisión espontánea muy distinto del que corresponde al estado fundamental; así, la hipótesis de la isomería clásica no puede sostenerse en el caso del núcleo de americio observado.

Las demás conjeturas tentadas acabaron bruscamente en 1967 con la llegada de la barrera de fisión con dos máximos, que iba a proporcionar inmediatamente la explicación del fenómeno. En efecto, en el curso del mecanismo de reacción producido al proyectar, por ejemplo, núcleos de neón sobre uranio, se forma un núcleo compuesto, excitado por encima de la barrera de fisión, que puede desexcitarse por fisión pero también por emisión de rayos γ o de nucleones. En estos últimos casos, el núcleo residual acaba generalmente en el primer pozo. No obstante, puede también ocurrir, aunque con una probabilidad mucho menor, que se encuentre «atrapado» en el segundo pozo. En efecto, la barrera A se opone a su desexcitación hacia estados del primer pozo y la barrera B se opone a la fisión espontánea. Para facilitar la discusión ulterior llamaremos estados de clase I y de clase II a los estados situados en el primer y segundo pozo respectivamente. El estado excitado del Am^{242} observado en las experiencias de Dubna sería, pues, un estado de clase II, lo que explicaría todas sus propiedades: su energía de excitación igual a la energía del fondo del pozo II con respecto al estado fundamental, su vida larga debida a que el estado isomérico queda «atrapado» en el segundo pozo, su período de fisión espontánea muy grande a escala de los tiempos nucleares, pero pequeña frente al período correspondiente del estado fundamental (el efecto túnel se realiza sólo a través de la parte superior de la barrera B). Esta interpretación equivale a la introducción de otra forma de isomería, muy distinta de la tradicional, llamada isomería de fisión o isomería de forma, dada la gran deformación de los estados de clase II.

En los años siguientes, se asistió ante todo a una floración de estudios orientados a la detección de otros isómeros de fisión. Fueron muy fructíferos: hasta hoy y en numerosos laboratorios (salvo en Francia) se han observado isómeros en 33 isótopos, para elementos situados entre el uranio y el berkelio, con períodos comprendidos entre 14 ms (para el Am^{242} mencionado antes) y algunas decenas de picosegundos,[10] límite este último impuesto por las posibilidades instrumentales. La mayoría de dichos isómeros corresponden al estado fundamental de clase II. En algunos casos, sin embargo, pueden ser debidos a un estado isomérico de tipo tradicional observado hasta entonces en el primer pozo, pero que puede producirse también en el segundo. Es la isomería doble observada por ejemplo en el Pu^{236}.

A partir de 1972 esta primera fase fue completada por otra en la que se intentó probar por métodos directos que dichos isómeros correspondían efectivamente a estados muy deformados de la materia, así como determinar sus propiedades cuánticas. En 1972 y en Munich (República Federal de Alemania) se demostró por vez primera que el momento de inercia de los isómeros de fisión es elevado. Más tarde (1977), en Copenhage y Heidelberg se demostró también, por otros métodos, que la deformación de los isómeros de fisión es elevada. Mientras, en 1975, el grupo de la universidad de Washington (Seattle, Estados Unidos) conseguía detectar por primera vez la transición radiactiva de un isómero de fisión (el del U^{238}) hacia estados del primer pozo por efecto túnel a través de la barrera A.

Todos estos trabajos requieren una técnica sumamente compleja, pues la probabilidad de formar dichos isómeros en una reacción nuclear es muy pequeña y el período de vida muy breve. Sin embargo, en la actualidad se ha conseguido una descripción satisfactoria de dichos isómeros, cuya identificación como isómeros de forma es universalmente aceptada.[10] Este trabajo iniciaba un estudio más general de los estados de clase II cuyos efectos, por otra parte, se habían manifestado ya de manera independiente. Nos ocuparemos de ellos más adelante.

Cuando se fisionan los llamados núcleos no fisibles

Otro éxito de la barrera de V.M. Strutinski fue el de lograr explicar un efecto extremadamente curioso, descubierto por vez primera en Saclay (1966) por el equipo que yo dirigía y por mí mismo, conocido desde entonces con el nombre algo complicado de estructura intermedia en la sección eficaz de fisión por debajo del umbral.[6] El efecto apareció inesperadamente en el curso de estudios metódicos de la fisión inducida por neutrones de baja energía. Estos estudios fueron estimulados por una teoría de la fisión, elaborada en 1955 por A. Bohr (el hijo de N. Bohr), llamada de las «vías de salida de fisión», que atribuía un papel privilegiado a los estados cuánticos del núcleo por encima del punto en silla de montar. A. Bohr los llamaba estados de transición a causa de su papel de bisagra entre los estados del núcleo compuesto y la escisión, papel asimilado al de las vías de salida de fisión (de donde el nombre de la teoría).

En aquella época empezaban a estu-

(10) R. Vandenbosch, *Ann. Rev. Nucl. Sci., 27*, (1977), 1. - V. Metag, D. Habs, H.J. Specht, *Physics Reports, 65*, Nb 1, (oct. 1980).

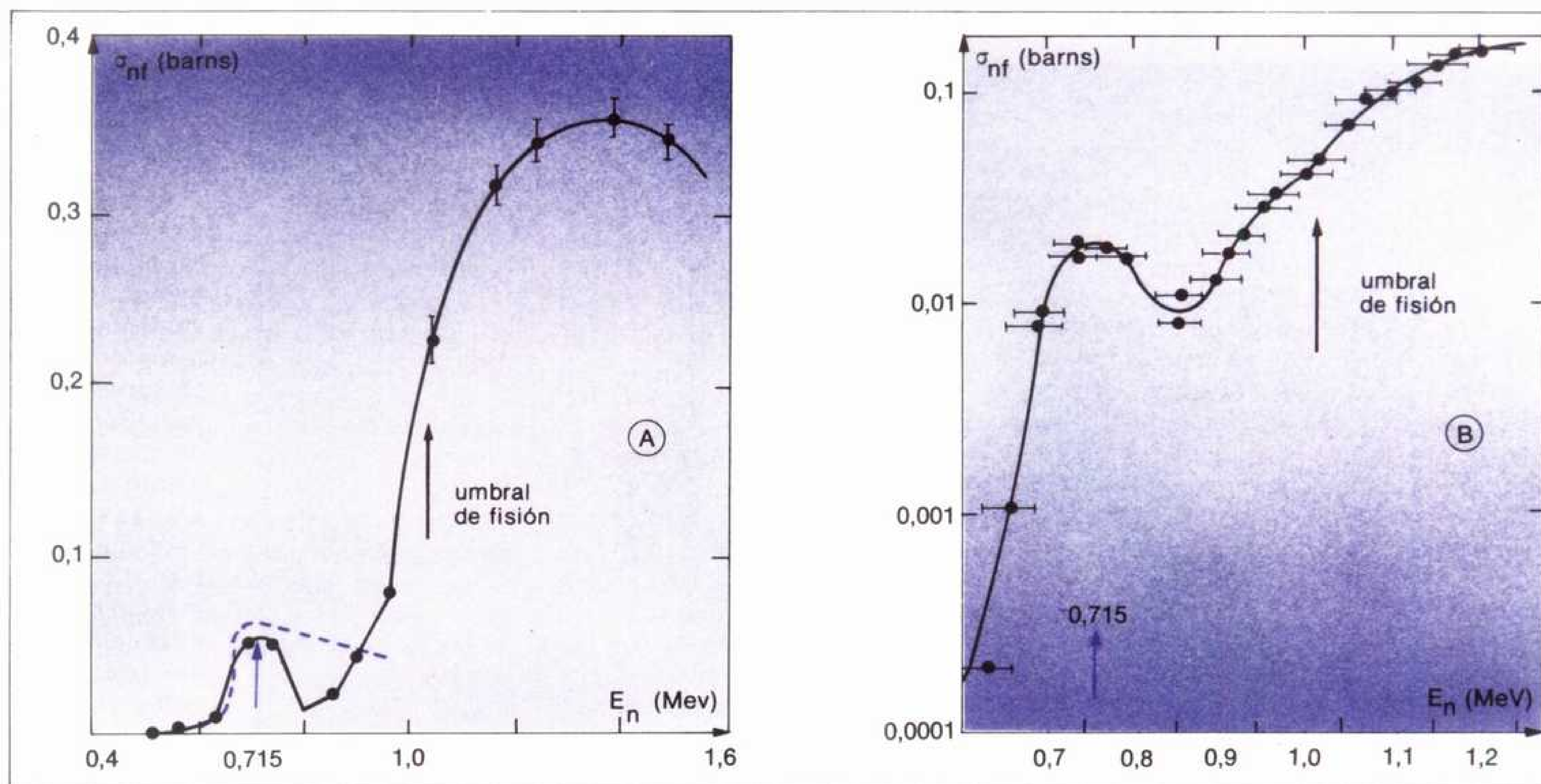
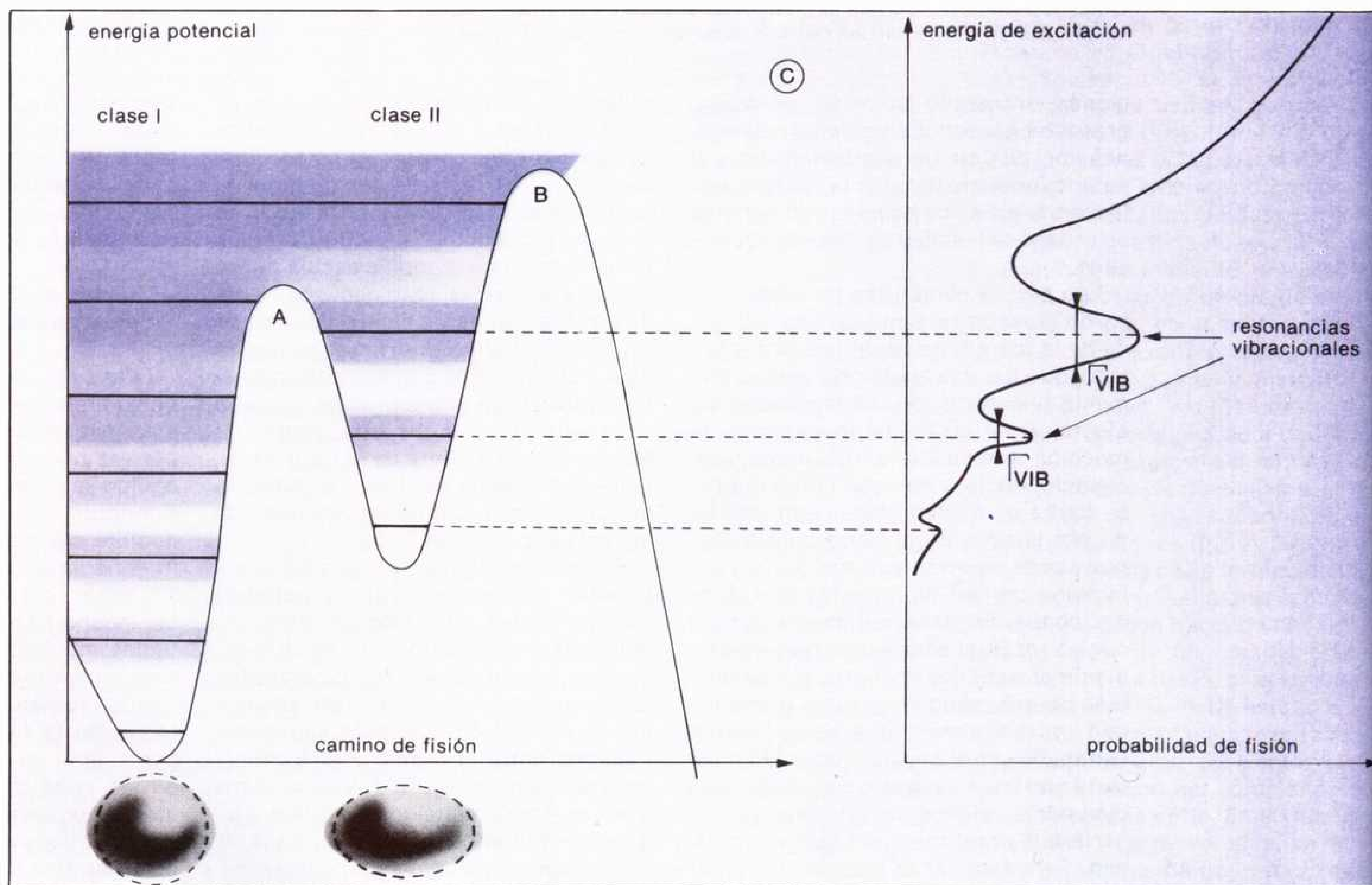


Figura 6. **Esta figura esquematiza las diferentes etapas que han marcado el estudio de la barrera de fisión para un isótopo, el Th^{230}, cuya secci[ón] eficaz de fisión ha constituido un rompecabezas para los físicos durante unos quince años.**

A) **En 1965, ciertas medidas (—•—•) hacen aparecer por vez primera resultados inesperados por debajo del umbral de fisión, es decir, por deba[jo] de la cima de la barrera. En vez de disminuir regularmente con la energía de los neutrones, la sección eficaz vuelve a subir hacia los 700 keV. Tale[s] resultados no pueden explicarse por cálculos (— — —) efectuados con una barrera de fisión de un solo máximo.**

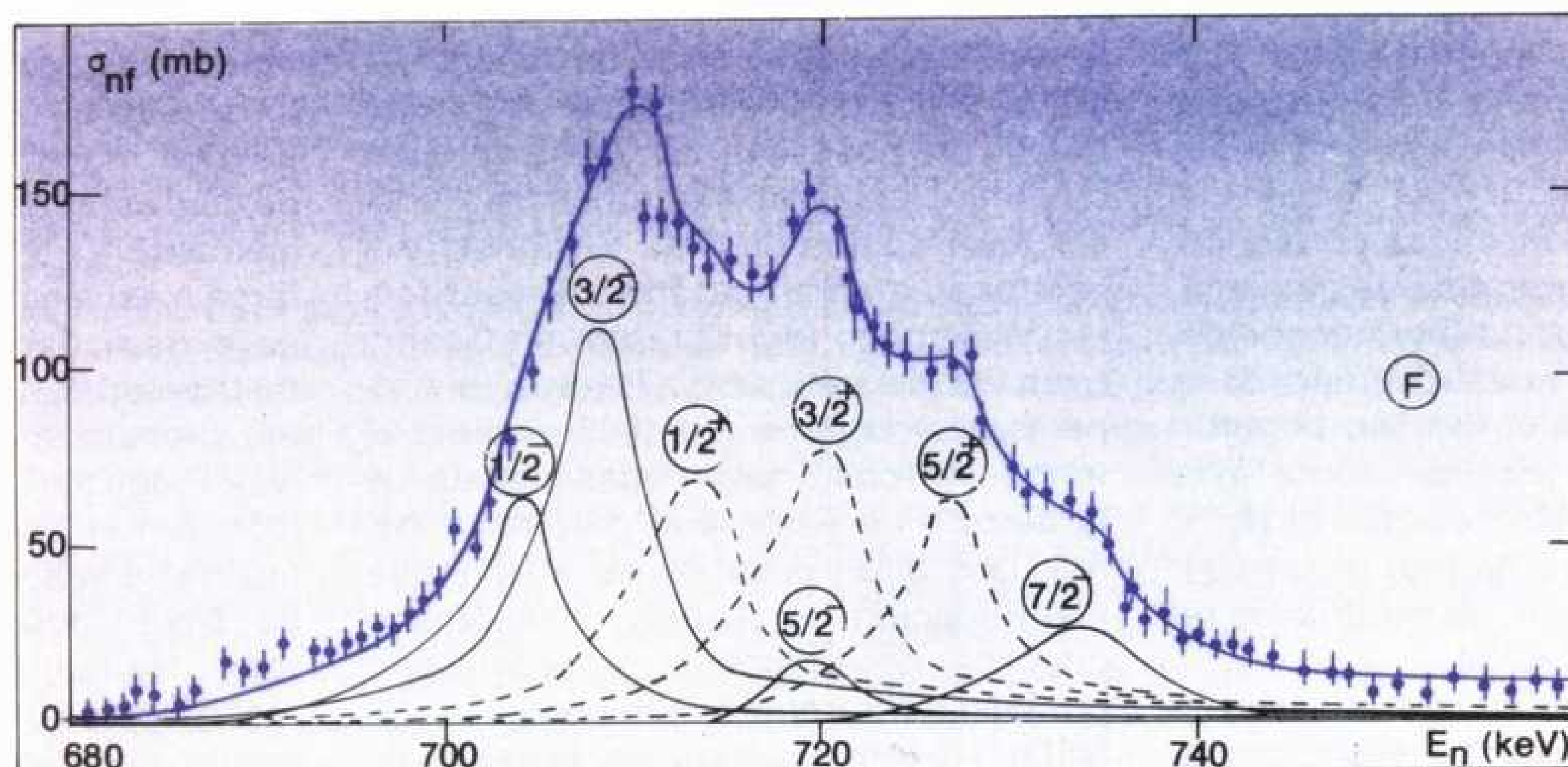
B) **En 1968, Vorotnikov (Unión Soviética) confirma las medidas anteriores y demuestra la existencia de una resonancia hacia 715 keV, por deba[jo] del umbral de fisión.**



C) **La barrera de fisión de Strutinski permite imaginar un mecanismo que explique la existencia de tales resonancias. En el segundo pozo hay cie[r]tos estados de vibración, llamados de clase II, cuya amortiguación y, por tanto, también la anchura Γ_{VIB} aumentan con la energía. Si esta anchu[ra] se mantiene inferior al espaciado entre estados, la penetrabilidad de la barrera (y por lo tanto la probabilidad de fisión) aumenta rápidamente e[n] las proximidades de un estado de clase II y se presenta en la forma de una resonancia llamada por esta razón resonancia vibracional. En las rea[c]ciones inducidas por neutrones, los estados de vibración de clase I están demasiado amortiguados y no desempeñan ningún papel particular en [la] probabilidad de fisión.**

D) En 1972, unas medidas más precisas efectuadas en Harwell (Reino Unido) permiten un análisis más detallado de la resonancia vibracional del torio. Aunque muy seductor en su fundamento, el mecanismo propuesto en C no logra explicar cuantitativamente los resultados experimentales. Los cálculos conducen siempre a una barrera interna A y, por tanto, a estados vibracionales de clase II de energía demasiado baja con respecto a la de la resonancia vibracional. Es lo que se dio en llamar la «anomalía del torio».

E) En 1973, nuevos cálculos más refinados de la barrera de fisión toman en consideración un parámetro de asimetría, llamado S_3, que traduce la deformación asimétrica del núcleo en las proximidades de la segunda barrera. Muestran la aparición de dos pozos suplementarios, llamados pozos III, al nivel del segundo punto en silla de montar para los actínidos ligeros (como los isótopos del torio). La figura muestra la barrera así obtenida a lo largo del camino de fisión. De la parte derecha de la figura se desprende que un estado de clase III puede provocar también la presencia de una resonancia vibracional en la sección eficaz de fisión. La energía de los estados de clase II es demasiado pequeña para que éstos puedan desempeñar algún papel.



F) En 1980, medidas muy precisas efectuadas en el marco de una colaboración entre Saclay y Geel (Euratom) indican la existencia de una estructura fina en la resonancia vibracional. El análisis de dicha estructura fina, conjugada con la de otros resultados no descritos en este artículo, llevan en 1981 a la conclusión de que aquélla es debida a un conjunto complejo de estados en los dos pozos III. Este conjunto comprende dos estados vibracionales $1/2^+$, $1/2^-$, cada uno de los cuales está asociado a una banda de rotación ($3/2^+$, $5/2^+$...) para el estado $1/2^+$ y ($3/2^-$, $5/2^-$, $7/2^-$...) para el estado $1/2^-$. Los estados superiores de las bandas de rotación, no indicados en esta figura, desempeñan un papel despreciable. La curva teórica resultante, dibujada en trazo continuo, concuerda muy bien con los resultados experimentales (———). Así pues, parece que una barrera de fisión con tres máximos hace desaparecer la anomalía del torio.

¿Por qué en ciertos casos la fisión resulta muy intensa a energías discretas muy próximas? Llevó hasta dos años el comprender este fenómeno.

diarse los reactores de neutrones rápidos, con especial hincapié en su seguridad de funcionamiento, por lo que resultaba fundamental conocer mejor las propiedades de las resonancias neutrónicas, las cuales aparecen en las secciones eficaces para neutrones de baja energía en forma de picos estrechos, correspondientes a la formación de estados del núcleo compuesto. Fueron descubiertas en 1936, poniendo de manifiesto tanto la vida larga de los estados del núcleo compuesto como el famoso principio de incertidumbre de Heisenberg. A fin de precisar sus propiedades, en varios países se construyeron fuentes más eficaces de neutrones proyectando sobre un blanco neutronígeno el haz pulsado de partículas cargadas salidas de un acelerador. El acelerador lineal de electrones de 60 MeV de Saclay iniciaba así su carrera en 1957 y se afirmaba como una herramienta muy productiva.

Todas estas instalaciones iban a renovar profundamente este campo de la física al aumentar en varios órdenes de magnitud el número de las resonancias conocidas. Se asistió a una verdadera explosión de resultados. A título de ilustración, la figura 4 muestra una pequeña parte de la sección eficaz de fisión de Pu^{239} medida en Saclay hacia 1967. Se puede observar un gran número de resonancias, varios centenares en toda la gama de energía medida, cuando quince años antes sólo se sabía de unas pocas. La densidad de estas resonancias es muy grande, pues su distancia media y, por consiguiente, la de los correspondientes estados del núcleo compuesto, es del orden del electrónvoltio, es decir, una ínfima fracción de su energía de excitación ($\simeq 6$ MeV). El análisis de estas resonancias proporcionaba informaciones valiosísimas sobre la interacción neutrón-núcleo y también sobre la fisión de ciertos núcleos fisibles, como el Pu^{239}. La teoría de A. Bohr servía de hilo conductor; aunque se verificaba en la mayoría de los casos, en algunos aparecían indicios de violación. Resultaba tentador comprobar si dichas violaciones se presentaban también en núcleos no fisibles, como el Np^{237}; el proyecto era audaz: para este núcleo, la fisión en el terreno de las resonancias se efectúa por debajo del umbral, y la sección eficaz correspondiente es extraordinariamente pequeña. De ahí, que su valor no fuera conocido. Los progresos de nuestro grupo en la detección de la fisión podían permitirnos efectuar esta medida, tanto más cuanto que había sido elegido el Np^{237} por su radiactividad natural moderada, que lo hacía utilizable en cantidades relativamente importantes.

Los resultados obtenidos a partir de 1966 fueron inesperados y espectaculares. Pueden verse en la figura 4, en la que cabe constatar que se detectaron efectivamente resonancias de fisión a pesar de su reducida amplitud. Sin embargo, y éste es el hecho importante, en vez de quedar repartidas de una manera relativamente uniforme en función de la energía, como para el Pu^{239}, aparecieron agrupadas en torno a ciertas energías: 40 eV, 120 eV, etc. Aunque bastante numerosas, las que se hallaban entre dichos grupos eran demasiado débiles para emerger del ruido de fondo. Los resultados chocaban con todos los modelos entonces conocidos, pues ninguno de ellos podía explicar por qué la fisión se volvía súbitamente más intensa para ciertas energías discretas muy próximas: 40 eV, 120 eV, las de los grupos de resonancias. Varios teóricos famosos se ocuparon en seguida de nuestros resultados sin que ninguno lograra explicarlos; los trabajos de V.M. Strutinski estaban todavía en fase de gestación y no habían salido a la luz pública. A algunos de nuestros interlocutores les era difícil descartar por completo la hipótesis de que ciertos efectos parásitos de nuestras experiencias habrían simulado unos resultados que no comprendían. Ante su impotencia, y a veces también su escepticismo, dedicamos entonces mucho tiempo a confirmar nuestros primeros resultados, repitiendo las medidas en condiciones experimentales diferentes. La misma agrupación de resonancias apareció en todos nuestros resultados, lo que nos permitió demostrar de manera indiscutible que el origen del efecto observado radicaba verdaderamente en las vías de salida de fisión. Mientras tanto, nuestros colegas del Euratom en Geel (Bélgica), que manteníamos informados de nuestros trabajos, disponían por poco tiempo de una muestra escasa, la de un núcleo no fisible, el Pu^{240}, prestada por los Estados Unidos con el fin de que se hicieran medidas útiles para los reactores de neutrones rápidos. Ello debía incitarles a estudiar de cerca la fisión de dicho núcleo por debajo del umbral. Y en 1968 encontraron un efecto similar al nuestro. A partir de entonces no cabía ya pensar en un caso aislado, sino en un efecto sistemático del que no era posible dudar. La comunidad científica empezaba entonces a conocer los trabajos de V.M. Strutinski y a valorar su gran importancia. En particular, Weigmann (del Euratom en Geel) y Lynn (de Harwell, pero a la sazón en Copenhague) lograron en 1968 explicar el fenómeno como una consecuencia de la barrera de fisión con dos máximos. Así, dos años después de su primera identificación en Saclay, el fenómeno quedaba no solamente admitido sino también interpretado, habiendo sido facilitada la primera etapa por la segunda.

La interpretación propuesta, que sigue actualmente en vigor, hace intervenir los estados del núcleo compuesto de clase II que puede haber cuando el segundo pozo es al efecto bastante profundo. Los estados del núcleo compuesto, tanto si son de clase I como de clase II, tienen entonces propiedades comparables, salvo por lo que se refiere al espaciado D_{II} de los estados de clase II, que es mayor (puesto que su energía de excitación es más reducida) y a la probabilidad de fisión, que también es mayor para éstos (ya que sólo tienen que atravesar la barrera B para fisionarse). El acoplamiento entre estos estados de ambos pozos aparece entonces como responsable del fenómeno observado. En efecto, cuando la energía y los números cuánticos de los estados de clase I corresponden a los de un estado de clase II, el acoplamiento de este último a los primeros favorece en gran medida su fisión (fig. 5). En el caso del Np^{237} anteriormente descrito, el que las resonancias de fisión (de clase I) sólo aparezcan para ciertas energías discretas, 40 eV, 120 eV, etc., se debe a la existencia de estados de clase II con los mismos números cuánticos, para las mismas energías, que desempeñan el papel de «estados intermedios» en las vías de salida de fisión. La estructura observada en esta sección eficaz es, pues, intermedia entre la estructura fina de las resonancias neutrónicas habituales y la estructura debida al potencial nuclear; por ello fue llamada «estructura intermedia». De hecho fue observada no sólo en el Np^{237} y el Pu^{240}, sino también más tarde en algunos otros núcleos como el U^{238}, el Pu^{238}, el Pu^{242}, el Cm^{244}... Su número es relativamente pequeño comparado con el de los isómeros de fisión, debido en parte a la falta de disponibilidad de muestras.

La interpretación propuesta más arriba es sin duda atractiva; el análisis de los pocos resultados obtenidos concuerda con los cálculos de las barreras de fisión. Sin embargo, no hay aún prueba experimental directa alguna de su validez. Para ello sería preciso, por ejemplo, descubrir componentes de estados muy deformados, de clase II, en los grupos de resonancias. Pero se trata de algo muy difícil, pues la vida media de los estados del núcleo compuesto (cerca de 10^{-16} segundos), aunque muy larga a escala de los tiempos nucleares, es extremadamente reducida a la del instrumental nuclear. Por contra, una experiencia muy difícil efectuada en Oak Ridge (1973), en estrecha colaboración con el laboratorio de Los Álamos, que hacía intervenir neutrones y núcleos de Np^{237} polarizados, demostró que todas las resonancias de fisión del primer grupo a 40 eV tenían los mismos números cuánticos. Este resultado con-

cuerda con el mecanismo propuesto antes, según el cual dichos números cuánticos tienen que coincidir con los del estado de clase II responsable de la existencia del grupo de resonancias.

El estudio de la estructura intermedia no ha progresado mucho desde esta fecha, debido a que su prosecución requiere medios experimentales más importantes (fuentes de neutrones, muestras, métodos de detección, etc.).[6]

Hacia una multiplicación de los máximos en la barrera de fisión

Otro efecto sorprendente observado en la fisión por debajo del umbral es el que hoy se conoce con el nombre de resonancia vibracional de la que vamos a ocuparnos ahora. Para un núcleo no fisible, la sección eficaz de fisión es pequeña a baja energía, ya que el sistema fisionante está excitado por debajo del umbral. Sin embargo, aumenta rápidamente en cuanto la energía de excitación se acerca al punto en silla de montar y alcanza una meseta situada más allá. En el marco macroscópico, este aumento de la sección eficaz en las proximidades del umbral, aunque rápido, se realiza de manera suave, en términos matemáticos, monótona. Fue lo que se observó efectivamente en las primeras medidas. En 1965, sin embargo, aparecieron los primeros indicios de que la sección eficaz de fisión cerca del umbral presentaba un aspecto distinto, al menos para ciertos isótopos como el Th^{230} (fig. 6A).

La sección eficaz de este isótopo sigue presentando el aumento rápido cerca del umbral a 1 MeV, de acuerdo con la representación macroscópica, pero, además, por debajo del umbral, hacia los 715 keV, aparece una resonancia perfectamente localizada y bastante estrecha (fig. 6B). Esta resonancia es incompatible con los modelos utilizados antes de 1968. Por contra, la barrera de V.M. Strutinski proporciona también en este caso un principio de explicación, siempre que se haga intervenir a los estados de vibración del sistema y su amortiguamiento. Efectivamente, en un pozo de potencial del espacio de las deformaciones, la forma del sistema puede vibrar como una gota de mercurio en torno a su forma de equilibrio. En un sistema cuántico, como el núcleo atómico, los estados de vibración están cuantificados y sus niveles de energía se espacian con mayor o menor regularidad en función de la forma exacta del pozo de potencial. Pero, en el caso del núcleo atómico, otro efecto viene a añadirse al anterior, llegando a desempeñar un papel importante. Se trata de los estados intrínsecos del núcleo, resultantes de la combinación de los movimientos individuales de los nucleones en diferentes órbitas, cuya densidad aumenta muy rápidamente en función de la

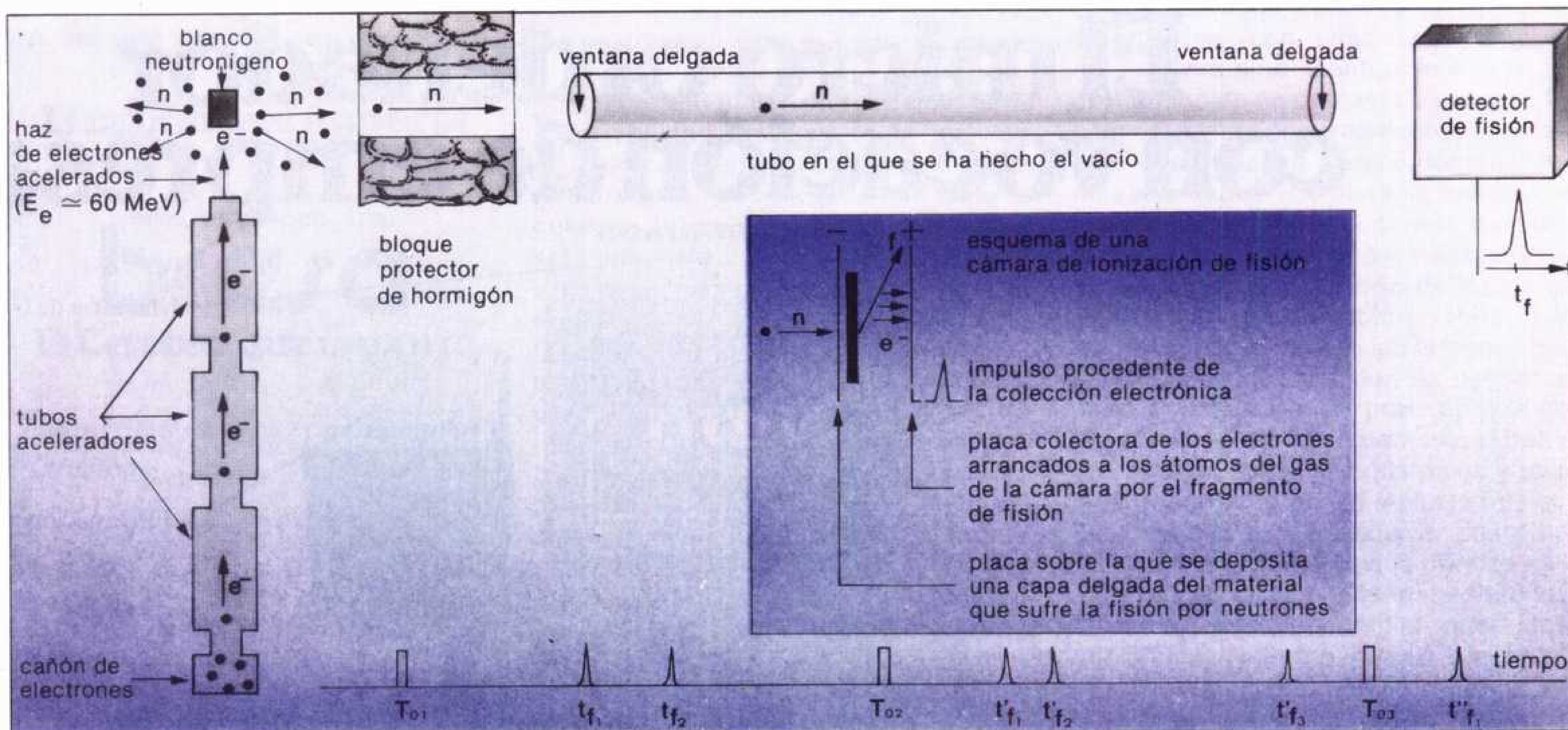


Figura 7. **El método habitualmente utilizado para medir secciones eficaces de fisión es el del tiempo de vuelo de neutrones, esquematizado aquí junto con el tipo de instalación empleada. Los neutrones se obtienen por oleadas dirigiendo sobre un blanco neutronígeno el haz pulsado de partículas cargadas que emergen de un acelerador. En la figura se ha representado un acelerador lineal de electrones parecido al que se utilizó en Saclay durante unos veinte años. En este acelerador, los electrones son arrancados de un cátodo y preacelerados en un cañón de electrones antes de ser enviados a tubos aceleradores, donde su energía aumenta progresivamente a lo largo del tubo gracias a la acción del campo eléctrico axial de una onda electromagnética de muy alta frecuencia (3.10^9 Hertz) que acompaña a los electrones desplazándose a la misma velocidad que ellos. Al término del proceso acelerador, los electrones salen del último tubo a través de una pequeña ventana y van a chocar contra el blanco, generalmente un bloque de uranio. Se obtiene así una fuente pulsada de neutrones emitidos en todas direcciones con velocidades muy diferentes, es decir con un espectro energético amplio. La frecuencia de los impulsos T_{01}, T_{02}, etc., es del orden de 100 a 1000 Hz.**
Para efectuar la medida se utiliza sólo una ínfima parte de los neutrones, la que corresponde al pequeño ángulo sólido del detector visto desde la fuente.
La distancia que separa la fuente del detector, llamada distancia de vuelo, puede estar comprendida entre algunos metros y algunos centenares de metros. Cuanto mayor es la distancia de vuelo, mejor es la resolución experimental, pero menor el número de neutrones detectados; al físico le corresponde hallar un buen compromiso entre ambos factores. Cuando la distancia de vuelo es grande, se coloca un tubo, en el que se ha hecho el vacío y limitado por dos ventanas delgadas, en el trayecto de los neutrones con el fin de evitar su amortiguación en el aire.
Cuando un neutrón provoca una fisión en el detector, este último envía un impulso de acuerdo con un mecanismo que depende del tipo de detector. El mecanismo está representado en el cuadro de este esquema para una cámara de ionización de fisión. Fue así como Frisch, en 1939, puso por primera vez de manifiesto el fenómeno de la fisión por un método físico.
El tiempo que separa el impulso t_f del detector de fisión del instante T_{on} de producción de neutrones que lo ha precedido se llama tiempo de vuelo del neutrón (sobrentendiéndose del neutrón que ha provocado la fisión) y de ahí el nombre del método. El número de impulsos proporcionados por el detector, así como los tiempos de vuelo correspondientes, varían de un ciclo a otro. El análisis temporal de todos estos impulsos lo realizan relojes electrónicos asociados a pequeños ordenadores, y permite llegar a la sección eficaz de fisión en función de la energía del neutrón incidente a través de otras operaciones y correcciones como, por ejemplo, la medida del espectro de los neutrones mediante otro detector.

Importante


1. Agustín Solanes Parra, Director de Empresa.


2. Javier Camps i Ferrer, Comerciante de Tejidos.

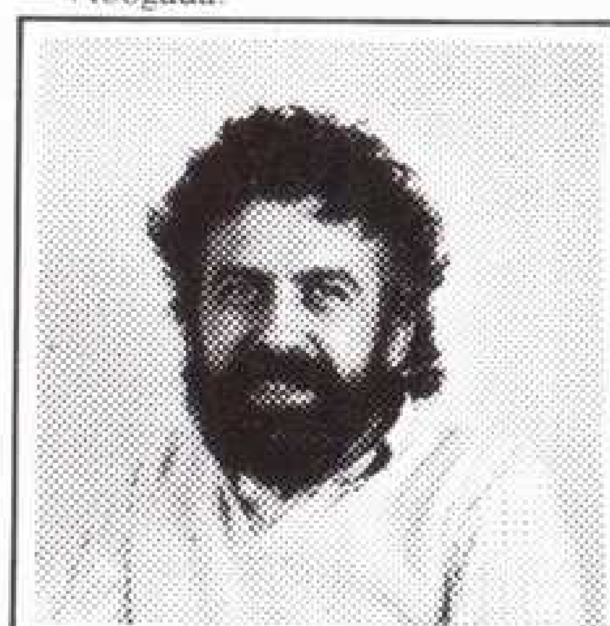

3. Antonio Carballo Paz, Administrador de Fincas.


4. Mª Teresa López Font, Abogada.


5. José Carreño Aguilar, Gestor Administrativo.


6. Juan Carlos Uriarte Mendizábal, Ingeniero.


7. Dra. Marta Ruiz Palacios, Médica.


8. Martín Hernández Ríos, Contable.

Xerox 820 El micro ordenador con vocación de empresa.



Desde hace muchos años, RANK XEROX ha estudiado las necesidades de los distintos tipos de empresas, para ofrecerles soluciones efectivas, prácticas y económicas.

Una prueba de ello son sus avances en el campo de la informática y el resultado de sus investigaciones ya cuenta con la aprobación de más de 100.000 empresas de todo el mundo, que han simplificado y automatizado sus gestiones mediante el MICRO ORDENADOR XEROX 820.

BRESA, distribuidor oficial de los micro ordenadores RANK XEROX, presenta a los profesionales, pequeñas y medianas empresas de nuestro país, las ventajas del XEROX 820, que por su importancia en la resolución de tareas de oficina y por la variedad de programas que ofrece es, sin duda, el micro ordenador que su empresa necesita ya.

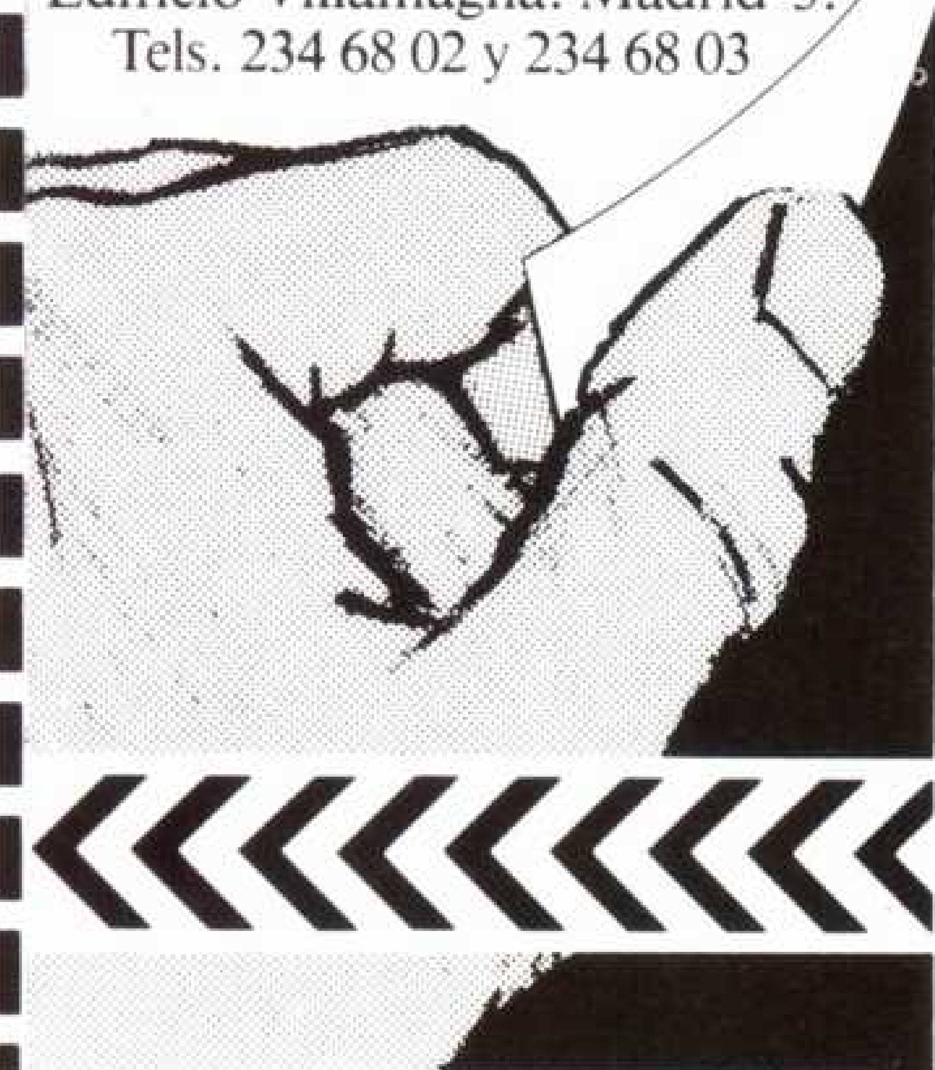
®
brokers europa, s. a.

bresa

El Cerebro que importa.

DISTRIBUIDOR OFICIAL DE MICRO ORDENADORES RANK XEROX.





energía. Se produce entonces un acoplamiento entre el movimiento colectivo de vibración del núcleo y los movimientos intrínsecos de los nucleones, lo que amortigua el movimiento de vibración, análogamente a como la energía de vibración de un automóvil queda rápidamente amortiguada y disipada en los amortiguadores. En ausencia de amortiguamiento, el sistema experimenta la resonancia a energías cuantificadas bien definidas; en presencia de aquél, la vibración se efectúa en una gama de energías tanto más importante cuanto mayor es el amortiguamiento y por lo tanto la energía de excitación. Para un núcleo pesado, esta gama energética resulta igual al espaciado entre niveles de vibración, aproximadamente a partir de 4 a 5 MeV. Por encima, resulta imposible localizar los estados de vibración, y el núcleo puede vibrar entonces independientemente de su energía. En este caso se dice que los estados de vibración están completamente amortiguados.

La presencia de estados vibracionales puede modificar profundamente la penetrabilidad de la barrera de fisión de acuerdo con la importancia de su amortiguamiento. Si están muy amortiguados, la penetrabilidad no queda afectada, pero si aquél es débil ésta presenta entonces un pico para cada estado vibracional, por ejemplo de clase II, tanto más agudo y estrecho cuanto más pequeño es el amortiguamiento. El mecanismo responsable de los picos en las secciones eficaces de fisión, como por ejemplo en el Th^{230}, resulta entonces obvio (fig. 6C). Los estados vibracionales de clase I, completamente amortiguados, no pueden producir estructura alguna en la sección eficaz. En cambio, los estados vibracionales de clase II, si están poco amortiguados y su situación energética es buena, pueden provocar unos picos llamados «resonancias vibracionales». Como dichos estados de clase II sólo pueden existir por debajo de la cima de la barrera, las resonancias vibracionales aparecen únicamente por debajo del umbral de fisión, fenómeno que se observa en el Th^{230}. Aunque esta interpretación, propuesta en 1968, era muy satisfactoria a nivel conceptual, iba más tarde a precisarse y evolucionar en función de los numerosos trabajos teóricos y experimentales a que dio lugar. A nivel experimental, relanzó el estudio de la fisión por debajo del umbral, algo desatendido hasta entonces en provecho del estudio por encima del umbral, precisamente donde Bohr había subrayado en 1955 la importancia de los estados de transición.

Todos estos estudios permitieron detallar las propiedades de los estados vibracionales de clase II y deducir la forma y profundidad del segundo pozo, las cuales pudieron ser cotejadas entonces con cálculos cada vez más pormenorizados. Aunque la concepción cualitativa del fenómeno se iba precisando, se ponía claramente de manifiesto que una categoría de núcleos, la de los isótopos del torio, rehusaba someterse a descripción cuantitativa. En lo que se daría en llamar la «anomalía del torio», la barrera A necesaria para explicar las resonancias vibracionales, sobre todo la del Th^{230} (fig. 6D), debe ser mucho más alta que la barrera calculada.

Un primer indicio de respuesta a este enigma vino de Lund (Suecia) y de Los Álamos en 1973, cuando ciertos cálculos de barrera efectuados con una gama más completa de parámetros de deformación, hicieron aparecer resultados interesantes, precisamente cerca de la barrera B para los isótopos del torio. En dicho punto, estos isótopos, como los demás actínidos, están ya fuertemente deformados, con una estrangulación que no hará sino acentuarse a lo largo del camino de fisión hasta dar origen finalmente a los dos fragmentos escindidos. Como dichos fragmentos son generalmente de masa distinta, resulta necesario incluir desde la barrera B un parámetro de asimetría de masa (llamémoslo s_3) en el repertorio de los parámetros de deformación. Para los actínidos ligeros, como los isótopos del torio, el camino de fisión se desdobla después del segundo pozo porque en vez de un puerto aparecen dos, simétricos uno del otro y abiertos a uno y otro lado del antiguo por la inclusión de s_3. Este resultado hace bajar el punto en silla de montar B e inicia la división asimétrica del sistema fisionante. Pero los cálculos indicaban también que estos dos nuevos puertos podían presentar una ligera depresión en su cima. En tal caso habría, pues, dos pozos suplementarios (llamados III), simétricos uno del otro, que podían albergar estados de vibración (de clase III) en las mismas condiciones que los demás pozos (I y II). Una barrera de estas características abría el camino a una interpretación de las resonancias vibracionales del torio (fig. 6E). Tras la absorción de un neutrón, en efecto, el sistema fisionante queda excitado muy por encima de la barrera A, a una energía en la que los estados vibracionales están muy amortiguados; el que sean de clase I o II no tiene ya mucho sentido a esta energía. En cambio, los estados vibracionales de clase III, poco amortiguados en razón de la poca profundidad de los pozos III, poseen la energía precisa para poder provocar resonancias vibracionales. Esta interpretación seductora no podía, sin embargo, ser aceptada sin prueba

Una de las enseñanzas que cabe extraer de la historia de la fisión: los conceptos simples tardan mucho en imponerse cuando chocan con ideas preconcebidas.

suplementaria: por ejemplo, la detección, en las resonancias vibracionales del torio, de una estructura fina típica de los estados de clase III ¿pero cuál?

Al no estar amortiguados los estados de clase III considerados, la única posibilidad es la de los estados de rotación, que están cuantificados, con un espaciado inversamente proporcional al momento de inercia. Su detección, en forma de una estructura fina, permitiría acceder a un parámetro dependiente de la deformación. En 1976, el equipo de Saclay conseguía por primera vez detectar una estructura fina en las resonancias vibracionales del Th^{232}. El mismo año, durante una estancia en Los Álamos, me tocaría a mí, junto a otros colegas de dicho laboratorio, descubrir una estructura fina en sus antiguos resultados relativos a la resonancia vibracional del Th^{230}.[11] Pero la interpretación de dichos resultados era todavía ambigua: hacía falta una medida de mejor calidad, susceptible de una interpretación indiscutible. Como la resonancia vibracional del Th^{230} constituía sin duda la mejor ocasión de detectar e interpretar una posible estructura fina, aunque se trataba de una medida bastante difícil, fue objeto en 1979 de una colaboración internacional, entre Saclay y Geel (Euratom), para la que se utilizó una muestra norteamericana de Th^{230}, muy difícil de conseguir.[12] Los resultados obtenidos, representados en la figura 6F, constituyen la mejor medida posible en la actualidad y demuestran indiscutiblemente la existencia de una estructura fina. Su interpretación, combinada con la de otros resultados, es sutil, pues las ideas teóricas han evolucionado también desde 1973. Debido a la existencia de dos pozos III, cabe esperar una estructura fina creada no por una banda de rotación, como si se tratara de un solo pozo, sino por dos bandas de rotación. El análisis de los resultados, delicado y complejo, fue efectuado en 1980-81 y parece excluir la presencia de una sola banda. Los resultados experimentales se explican, en cambio, correctamente si se recurre a dos bandas de rotación (fig. 6F), es decir, a estados de clase III. El espaciado de los niveles de rotación revela también un momento de inercia compatible con la deformación de estos estados.[6,12]

Todos estos trabajos, incluidos los más recientes sobre las resonancias vibracionales, han permitido consolidar y refinar la coherencia de la descripción del proceso de fisión. Cada núcleo, en efecto, posee una barrera de fisión única, que es preciso determinar mediante cálculo y experimentación y que debe permitir explicar cuantitativamente todos los resultados de fisión correspondientes. Es como un cuadro por reconstruir, como un rompecabezas del que faltan fragmentos que hay que buscar donde la naturaleza pueda haberlos escondido, lo cual exige medios importantes y variados. Los experimentos deben ser numerosos y muy diferentes, ya que de cada uno de ellos sólo se puede obtener una pequeña parte del rompecabezas, no sólo a causa de los límites impuestos por el instrumental sino también por razones propias de la física del fenómeno. Pese a tantas dificultades y lagunas se ha ido formando poco a poco una descripción precisa y coherente de dichos trabajos, aun faltando todavía algunas piezas del rompecabezas.[13] Para los actínidos ligeros, esencialmente los isótopos del torio, parece imponerse actualmente la barrera con tres máximos; la de dos, por su parte, mantiene su validez íntegra para los isótopos más pesados.

El último tramo del camino de fisión

Esta historia de la fisión es instructiva en más de un aspecto. Ilustra la progresión del conocimiento científico. A menudo sorprende el tiempo necesario para que ciertos conceptos relativamente simples lleguen a imponerse y para que ciertos experimentos significativos, no muy complicados, lleguen a efectuarse y sus resultados a aceptarse, sobre todo si chocan con ideas preconcebidas. Ahí reside efectivamente la clave: los descubrimientos sólo surgen en espíritus preparados. Así ocurrió con la fisión, cuyo descubrimiento, como hemos visto, habría podido producirse varios años antes de 1938. Otro tanto cabe decir de aquellos aspectos de la misma que hemos descrito aquí. Yo mismo pude experimentar la resistencia de la comunidad científica a aceptar nuestros resultados durante el período de 1966 a 1968. El equipo de Dubna topó con el mismo problema. Los equipos de experimentadores tuvieron el gran mérito de profundizar en sus resultados y de acumular un conjunto de pruebas irrefutables, poniendo así las bases indispensables para una interpretación futura. Ello indica, si es que hace falta aún recalcarlo, la importancia de contar con bases experimentales sólidas en la progresión de la física, aun y sobre todo en ausencia de interpretación pertinente. Además, es preciso dar a los físicos una libertad suficiente. El método de V.M. Strutinski, muy sencillo en su principio y fácil de aplicar por apoyarse en modelos nucleares probados, habría podido ser ideado mucho antes. Su éxito había de recordarnos que ciertas propiedades del núcleo atómico están dominadas por efectos clásicos, mientras que los efectos cuánticos sólo intervienen en forma de correcciones, hecho que el gran progreso de los modelos microscópicos había ido haciéndonos olvidar.

Todos estos trabajos, comenzados con motivaciones por completo distintas, convergieron súbitamente en 196[illegible] hacia una concepción unificada de una parte de la física de la fisión y de una manera totalmente inesperada, que habría escapado a la programación más clarividente. Esta eclosión confirió de golpe una resonancia considerable a dichos trabajos, en singular contraste con su elaboración oscura y las reservas encontradas durante los años anteriores. Sorprende ver a Estados Unidos, tan a menudo en cabeza del progreso científico, ausente de esta fase inicial pero fundamental. Fue la vieja Europa la que, temporalmente al menos, desempeñó el papel principal, primero en la Unión Soviética y Francia, donde se elaboraron los primeros trabajos y la teoría, luego en Bélgica (Euratom) y Gran Bretaña, pero también en el instituto Niels Bohr de Copenhague, punto de encuentro científico tradicional entre el Este y el Oeste, donde, con la presencia de V.M. Strutinski como físico invitado, tenía que germinar la síntesis de los trabajos y su interpretación. La maduración intelectual producida entonces permitió aceptar rápidamente todos estos resultados e integrarlos en la gran corriente de la física nuclear. El éxito de dichos trabajos, en efecto, se debía al estudio fundamental de la fisión en cuanto tal, independientemente de sus aplicaciones, y su interpretación no habría podido surgir sin un enfoque original de las propiedades del núcleo atómico que combinara armoniosamente los aspectos contradictorios, pero complementarios, de los modelos nucleares existentes. En un movimiento recíproco muy comprensible, la fisión iba a dar un nuevo impulso a una macroscopía nuclear cuyo relevo iba a ser tomado poco después y de manera espectacular por las reacciones nucleares inducidas por iones pesados. Iba también a permitir el estudio de estados nucleares muy deformados, cuya existencia era desconocida hasta entonces, la de los estados de clase II y eventualmente de clase III.

Actualmente ha quedado completado un importante capítulo, el de la barrera de fisión, o, por lo menos, de una cierta barrera de fisión. Es la barrera de V.M. Strutinski, hoy bien conocida para una cierta gama de núcleos, los de la familia de los actínidos, y para una parte del camino de fisión, el que va hasta el último punto en silla de montar.

Para extender el estudio a un mayor número de núcleos, habría que poder disponer, por una parte, de núcleos más pesados, todos producidos artificial-

(11) L.R. Weeser, D.W. Muir, *Phys. Rev., C. 24,* (1981), 1540.
(12) J. Blons, Tesis de Doctorado, (mayo 1982).
(13) S. Bjornholm, J.E. Lynn, *Rev. of Modern Physics, 52,* Nb 4, (1980), 725.

mente, muy radiactivos y disponibles en pequeñas cantidades, y, por otra, de fuentes de neutrones mucho más intensas. Una de estas fuentes está siendo construida en Los Álamos, a partir de un haz de protones extraídos del gran acelerador llamado «fábrica de mesones π». Queda todavía el caso de los núcleos superpesados, cuyo enigma no parece vaya a poder resolverse en un futuro próximo.

El camino de fisión merecería ser explorado en su totalidad, incluida su parte final, la bajada hasta la escisión. Se trata de la parte más difícil de estudiar, pues es en ella donde se manifiestan o pueden manifestarse con mayor claridad los efectos dinámicos que, por falta de espacio, no hemos abordado en este artículo.

En rigor, habría que poder disponer también de buenos cálculos microscópicos de la barrera. El método de V.M. Strutinski nos ha permitido franquear una etapa muy importante y nos ha recordado la importancia de la macroscopía nuclear. Empieza a ser hora de que el aspecto cuántico global del núcleo recupere una parte de sus derechos. Los rápidos progresos de estos últimos tiempos permiten esperar, para los años próximos, una barrera de fisión microscópica bien fundamentada a nivel teórico y que pueda rivalizar en precisión con la de V.M. Strutinski. ■

Para más información:

■ S.R. Weart, *Scientist in power*, Harvard University Press, 1979.

■ R. Vandenbosch et J.R. Huizenga, *Nuclear fission*, Academic Press, 1973.

■ A. Michaudon (éd.), *Nuclear fission and neutron induced fission cross-sections*, Pergamon Press, 1981.

La salud pública en España

por Vicente Navar

Tribuna libre

Vicente Navarro,
Catedrático
de Salud Pública
y de Política Social.
The School of
Hygiene and Public
Health
The John Hopkins
University.

■ La promoción de la salud, la prevención de la enfermedad, curar y rehabilitar al enfermo a la colectividad son funciones de la salud pública.
■ El profesor Vicente Navarro, experto internacional del tema trabajó de asesor guberna mental en Chile, Cuba, Nicaragua y Suecia, es también autor de numerosos trabajos para e gobierno de EE.UU., analiza en este artículo la situación en España en todo lo referente a l salud pública y sus implicaciones.

¿Qué es la salud pública?

Salud pública es todo tipo de intervención encaminada al mejoramiento de la salud del público, es decir, de la población. En España, este concepto se asimila con frecuencia al sector estatal de la medicina o a la infraestructura sanitaria; sin embargo, su significado es mucho más amplio y, aunque incluye aquellos componentes, abarca otros muchos tipos de servicios e intervenciones.

¿Cuáles son las funciones de la salud pública?

Las funciones de salud pública son las de promover la salud, prevenir la enfermedad y curar y rehabilitar al enfermo y a la población. Por lo tanto, incluye no sólo la organización, planificación, administración y evaluación de los servicios preventivos y de promoción de la salud, sino también de los servicios curativos y de rehabilitación. En España cada una de estas funciones es llevada a cabo por administradores y sectores distintos que actúan sin coordinación. Esto implica, además de un gran coste social y humano, un gran despilfarro de recursos.

¿Cómo se realizan estas funciones? ¿Con qué tipo de intervención y servicios?

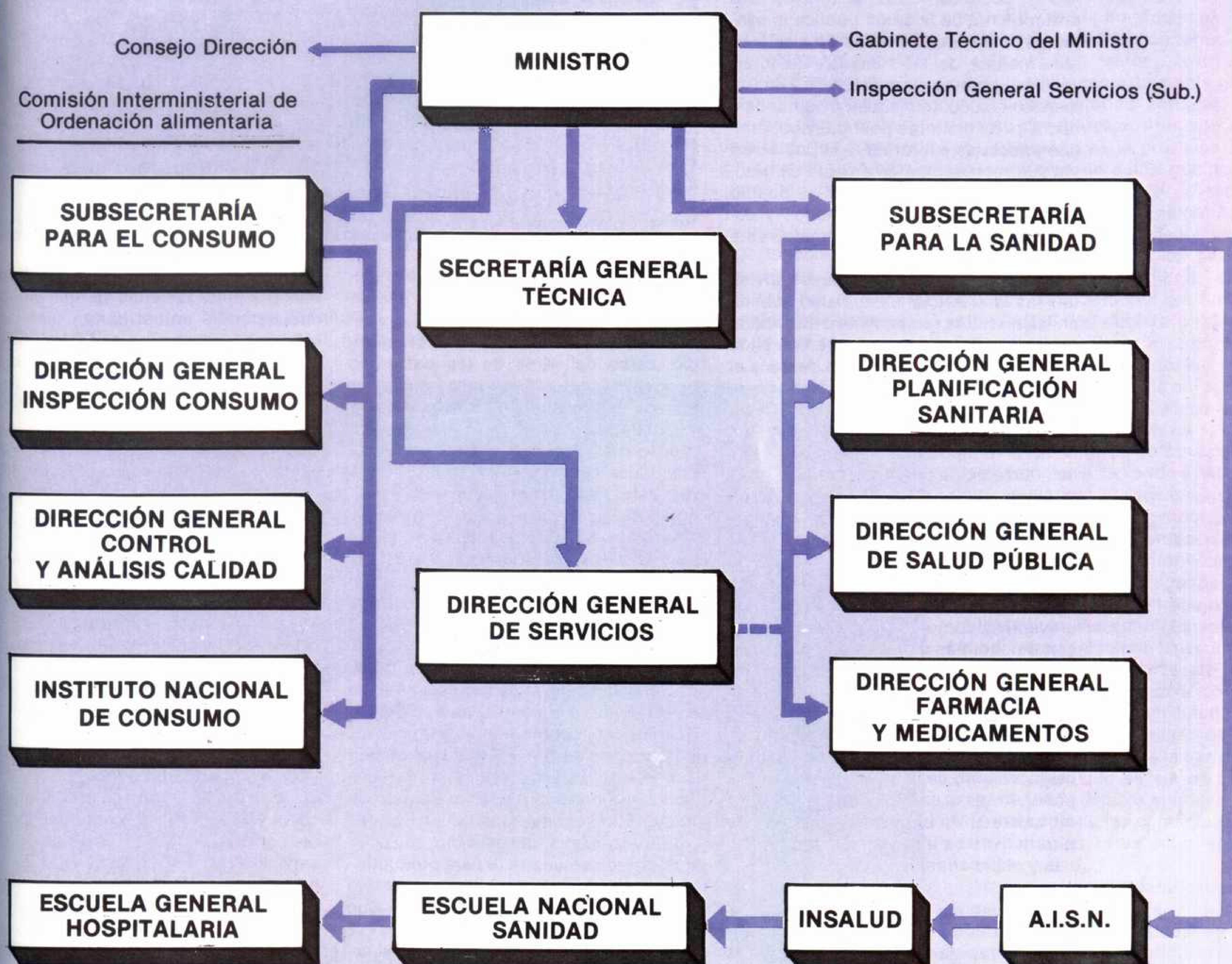
Las funciones de salud pública se realizan a través de los *servicios de atención personal,* encaminados al mejoramiento de la salud de la población mediante las intervenciones directas sobre el individuo (tales como inmunizaciones o atención médica), asi como con servicios de *atención ambiental* destinados al mejoramiento de la salud del individuo, realizados indirectamente mediante cambios en el ambiente físico, social y psicológico en el que el individuo vive, trabaja y goza (tales como la medicina laboral y ambiental).

En España se ha dado mucho mayor énfasis a los servicios de atención personal que a los servicios de atención ambiental. Estos últimos están sumamente subdesarrollados. La infraestructura de servicios ambientales (que incluyen desde la medicina laboral a la infraestructura ambiental sanitaria), se encuentra en condiciones críticas. La falta de control de las aguas ya de uso o consumo ya residuales, por ejemplo, están creando problemas claramente epidémicos y endémicos. Uno de los costos humanos y sociales mayores del régimen anterior provino del abandono de la infraestructura de equipamientos colectivos sanitarios, y una consecuencia, entre muchas otras, del mismo es que hay regiones tifoideas endémicas en grandes zonas rurales y urbanas de España, incluida su capital. Aproximadamente el 70 % de las poblaciones españolas no poseen un control adecuado de las aguas residuales. A estos problemas propios del tercer mundo se añaden los inherentes al desarrollo capitalista desenfrenado e incontrolado de los años 60 y 70, como el aumento muy marcado y sin ningún tipo de control de las sustancias cancerígenas, a las que tanto los trabajadores como los residentes y consumidores están expuestos. Hoy en España coinciden problemas del primer mundo con los del tercer y cuarto mundos.

Servicios de *atención curativa,* encaminados a la curación del enfermo, así como servicios de *atención preventiva* (con miras a la prevención de la enfermedad) y *rehabilitación* del enfermo (para la pronta reincorporación del paciente a su vida normal, afectiva y social).

En España se da mucho mayor protagonismo a la medicina curativa que a la medicina preventiva y de rehabilitación. Este protagonismo conlleva también un gran coste humano y social. Aproximadamente el 40 % de las enfermedades en España podrían prevenirse y evitarse mediante otro sistema, donde el protagonismo dentro de los presupuestos nacionales y dentro de la formación de recursos humanos y físicos fuera invertido dando prioridad a las intervenciones preventivas. Hay que subrayar que el sistema actual de prioridades supone, además de un gran costo humano y social, un enorme costo económico. Por ejemplo, el tratar las aguas residuales y su control (medidas preventivas) es más económico que el continuo gasto médico y hospitalario que se está produciendo hoy en España para curar las enfermedades infecciosas producidas por la falta de la infraestructura sanitaria que debiera prevenir dichos problemas.

Servicios de atención hospitalaria (con miras a la provisión de servicios de
atención secundaria y terciaria, es d
cir, de servicios hospitalarios clínico
especializados), así como los servicio
de *atención comunitaria* (para la prov
sión de servicios de atención primaria
medicina general).
En España, el hospital desempeña u
papel central dentro del sistema méd
co, dándose a la medicina un caráct
curativo que, como ya he señalado, e
negativo y contraproducente. La medic
na comunitaria, que debiera ser el e
central del sistema, es un mero apénd
ce de la medicina hospitalaria, de l
cual debiera recibir apoyo. Sin emba
go, el mayor número de problemas mé
dicos y sanitarios se da al nivel de la co
munidad. Y es ahí donde debieran pro
veerse los servicios. Pero, los más d
los recursos van al hospital. Mientra
que sólo el 5 ‰ de la población espa
ñola es hospitalizada en el transcurs
de cada año.
Esta orientación hospitalaria en e
presupuesto y en el tipo de recursos hu
manos que se forman hoy en las Facu
tades de Medicina subrayan el carácte
curativo personal de la medicina espa
ñola.
Servicios de atención dirigidos a
ciudadano residente (medicina clínica
además de servicios de *atención dirig*
dos al ciudadano-trabajador (medicina
salud laboral). En España, una de las
consecuencias de la correlación de
fuerzas de clase en los decenios del ré
gimen anterior ha sido el abandono de
la higiene y medicina laboral y ocupa
cional. Es un fenómeno tristemente co
nocido a nivel internacional, que la pro
tección del trabajador español frente a
agresiones y riesgos en su lugar de tra
bajo es sumamente deficiente. Se sabe
por ejemplo, que en España se han aco
gido industrias que utilizaban elemen
tos tóxicos que no se permitían en otros
países. Casos y ejemplos hay muchos.
En Estados Unidos, donde se han co
menzado a regular las sustancias a las
que el trabajador está expuesto, se ha
estimado que el 30 % de los cánceres
se deben a la exposición del trabajador
a sustancias cancerígenas en su lugar
de trabajo. El principal instituto de in
vestigación en medicina laboral en Es
tados Unidos ha calculado que uno de
cada cuatro trabajadores está sujeto a
condiciones de trabajo que le pueden
dañar, incluso fatalmente.
Es muy probable que en España la si-



tuación sea mucho peor, debido a una insuficiencia muy marcada en la legislación actual en esa área y a una gran deficiencia en la capacidad normativa y de control por parte del Estado, así como por parte de los sindicatos.

En cuanto a los recursos, son dramáticamente insuficientes. Mientras que en Suecia, por ejemplo, hay un promedio de un médico y un técnico sanitario laboral por cada 2 500 obreros, en España hay uno por cada 100 000 obreros. Muchas especialidades de medicina e higiene laboral (una rama de la salud pública) ni siquiera existen en España.

Servicios de *atención psicológico-somática* y de *atención social*. Hay un enorme caudal de pruebas de que los cambios económicos, políticos y sociales tienen mayor incidencia en la salud de la población que los cambios en la cobertura de la población por los servicios médicos. Por ejemplo, la tuberculosis descendió casi al punto de desaparición en Inglaterra antes de que su terapia fuera conocida; y este descenso se debió al mayor desarrollo económico, con mejora muy notable de la nutrición y vivienda de la población inglesa. Otro ejemplo de la relación entre cambios económicos y salud es que, en Estados Unidos, hemos estimado que cada incremento del paro en 1 % crea 60 000 muertes, 2 000 suicidios, 6 000 ingresos en hospitales mentales, etc.

En España los servicios médicos han dado gran protagonismo a medidas de mejoramiento somático, y en mucho menor grado psicológico, del paciente.

¿Cuál es la importancia de la salud pública además de intervenir en el mejoramiento de la salud de la población?

Pero no se ha dado gran importancia a las medidas de intervención económico-social colectiva y a su evaluación por lo que hace a sus consecuencias humanas y sociales. Es una función importantísima de la salud pública al evaluar el costo social (en cuanto a salud y enfermedad) de las medidas de intervención político-económica; no lo es menos el calcular los costos humanos y sociales de distintas políticas económicas y sociales e informar a la población y a sus representantes en este sentido. Hay que conocer e informar al pueblo español de los costos humanos y sociales que el paro, por ejemplo, está creando.

Distintas formas de atención en salud pública

1. Atención personal	*vs.*	2. Atención ambiental
3. Atención curativa	*vs.*	4. Atención preventiva
5. Atención hospitalaria	*vs.*	6. Atención comunitaria
7. Atención clínica	*vs.*	8. Atención laboral
9. Atención somático-psicológica	*vs.*	10. Atención social

En resumen, si consideramos divididas las intervenciones en salud pública en las distintas ramas dentro de cada tipo de intervención (como aparece en la tabla), vemos que en España destaca el enorme protagonismo de los tipos de intervención de la columna 1 sobre la columna 2. Tanto en los presupuestos como en el tipo de formación de personal, la medicina personal, curativa, hospitalaria, clínica y somático-psicológica tienen un enorme protagonismo.

Sin embargo, hay numerosas pruebas, acumuladas en gran cantidad de estudios científicos sobre salud pública, de que las atenciones ambiental, preventiva, comunitaria, laboral y social son mucho más eficaces e importantes para mejorar la salud de un pueblo que las que hoy rigen en la panorama médico español. El sistema de prioridades y estructuras en la medicina española actual no son los más adecuados para el mejoramiento de la salud del pueblo español. Antes al contrario, su protagonismo obstaculiza el desarrollo de formas alternativas de intervención, más eficaces y necesarias.

¿Qué debiera hacerse?

En líneas generales, cuatro son las áreas de intervención de una política de salud pública que yo considero, España necesita: 1) *integración de los servicios,* 2) *regionalización,* 3) *cambio de prioridades presupuestarias y de formación de recursos,* y 4) *democratización.*

Integración de los servicios

En España, cada una de las 10 funciones que he señalado anteriormente en la tabla está dirigida y corre a cargo de administraciones diferentes, a su vez divididas en múltiples subdivisiones.

A ello se añade la clara dicotomía sector público *versus* sector privado, donde bajo los regímenes anteriores y actual el sector público está supeditado al desarrollo del privado.

El costo económico de esta falta de integración y coordinación de los servicios es enorme. Conlleva unos gastos innecesarios, que podrían evitarse y reducirse considerablemente. Por ejemplo, cerca del 40 % de los pacientes hospitalizados podrían ser atendidos más humanamente, con mayor eficacia y satisfacción personal, y menos costos, en otro tipo de institución y servicios, tales como servicios domiciliarios que estuvieran mejor arraigados y articulados en la comunidad. Ello requeriría, sin embargo, el establecimiento de estos nuevos tipos de servicios, así como una coordinación e integración entre ellos y las instituciones hospitalarias.

Otra consecuencia de esta falta de coordinación e integración es la duplicación y despilfarro de recursos. Así, no es infrecuente encontrar en España 4 y 5 unidades coronarias al servicio de poblaciones de 1 ½ a 2 millones de personas, cuando una sola sería más que suficiente para un colectivo de este tamaño. Ello supone no sólo una enorme infrautilización y desperdicio de recursos (como demuestra la baja productividad de muchas de esas unidades), sino también el consumo de recursos que debieran utilizarse en otras áreas. Por ejemplo, con el costo que implica el establecer, montar y mantener dichas unidades coronarias se podrían crear otras de purificación de aguas de consumo y residuales que podrían contribuir a la resolución de la problemática epidémica y endémica de los tifus y paratifus que invade no sólo grandes zonas rurales sino urbanas, donde esas unidades coronarias están ubicadas.

La duplicación de recursos que he podido observar en España es enorme y está contribuyendo a un ingente e innecesario gasto médico, que beneficia única y exclusivamente a grupos facultativos minoritarios y a la industria farmacéutica y de equipamientos médicos y hospitalarios. Este despilfarro se suma a la crisis económica de España. Dudo que esta situación caótica pueda continuar sin provocar una crisis económica de dimensiones desconocidas en nuestro país. Quienes defienden esta circunstancia actual harían bien reparando en lo que ocurre en EE.UU., donde se gastan 250 billones de dólares (el 10 % del PNB) y, a pesar de ello, el 20 % de la población norteamericana carece de cobertura médica, y el sistema de salud, pese a contar con sobrados ejemplos de unidades de servicios de alta calidad, es deficiente. Se ha calculado que el 40 % del gasto médico estadounidense es puro despilfarro. Ello ha forzado a gobiernos norteamericanos, incluso conservadores, a desarrollar mecanismos de control y planificación. Paradójicamente, encontramos muchos más mecanismos de control y planificación de los servicios médicos en Estados Unidos, el país capitalista por antonomasia, que en España, donde rige un gobierno de «centro derecha» comprometido, en teoría, en corregir los excesos del capitalismo.

Incluso más importante que la ineficacia y despilfarro que significa la falta de coordinación e integración de los servicios, es la ineficacia y los costos humanos (en cuanto a sufrimiento) que aquélla supone.

La gran interdependencia entre las 10 funciones de salud pública explica que su falta de coordinación perpetúe el sacrificio y sufrimiento de la población. Por ejemplo, el obrero con hipertensión y dolores de cabeza continuará sufriendo y visitando al médico clínico, a no ser que el tipo de trabajo al que está expuesto y que le determina aquella hipertensión y dolor cambie. Es necesario, por tanto, que la medicina clínica y la medicina laboral estén coordinadas para que a dicho paciente se le resuelva el problema. La salud de la población requiere la coordinación, integración y planificación de las distintas funciones anteriormente enunciadas. Hay que terminar con esa enorme atomización y duplicación de la medicina española, carente de controles y coordinación. Hay que evitar, por ejemplo, que las funciones preventiva y curativa se realicen

a través de distintas administraciones. Todas las funciones de salud pública (las de atención ambiental, preventiva, comunitaria, laboral y social, así como las personales, curativas, hospitalarias y somático-psicológicas) tendrían que realizarse a través de los mismos equipos. Por ejemplo, el equipo de salud que provee medicina clínica en un centro comunitario de salud tiene que visitar las escuelas (para hacer labor preventiva) y las fábricas (para hacer medicina laboral), ayudado en todas estas tareas, cuando se requiera, por los especialistas en aquellas ramas, que deben trabajar no sólo en el hospital sino también en el centro comunitario. Esta integración debiera realizarse mediante el establecimiento de un Servicio Nacional de Salud que, dentro de un esquema estatal, tuviera la necesaria flexibilidad para adaptarse a las distintas peculiaridades de cada área autonómica de España.

Regionalización de los servicios

Es importante y necesario que los servicios integrados estén organizados en unidades regionales donde todas las funciones de salud pública se realicen a través de servicios basados en unidades regionales de salud, que comprendan una población de millón y medio a dos millones de personas. El tamaño final, que puede rebasar esta cifra, dependerá de la densidad de la población, facilidad de transporte, densidad de recursos y otros factores. No faltan métodos precisos para calcular el tamaño óptimo de estas unidades regionales.

Dentro de cada unidad regional los servicios de salud pública debieran situarse a tres niveles de atención: primaria, secundaria y terciaria. Atención primaria es la provisión de todos los servicios de salud pública a nivel comunitario. Su base institucional son los centros de salud comunitarios. Hay que subrayar que estos centros serían nuevas unidades totalmente diferentes a los ambulatorios actuales, que debieran desaparecer. Atención secundaria y terciaria es la provisión de todos los servicios de salud pública que requiere un tipo distinto de especialización y superespecialización. Actúan no como centros del sistema sino como medidas de apoyo a los servicios de atención primaria. Aquí hay que subrayar que todo personal del Servicio Nacional de Salud debiera trabajar en los tres niveles y llevar a cabo todas las funciones de salud pública. Por ejemplo, el equipo de cirugía cardiaca no debiera trabajar exclusivamente en el centro de atención terciaria, sino también en los centros de atención secundaria y primaria, llevando a cabo no sólo labores clínicas curativas sino también preventivas, sociales, laborales y ambientales. Está bien probado que gran porcentaje de las enfermedades cardiovasculares están ligadas en gran parte al «stress» en el trabajo, en la comunidad, en las condiciones sociales. Aquel equipo debiera tener un conocimiento, por tanto, de la problemática cardiovascular en aquella comunidad, resolviéndola no sólo en cuanto a la parte descubierta del témpano de la enfermedad sino también de la parte oculta o desconocida, que es sin duda la más importante. Y debiera conocer, incidir e intentar cambiar las condiciones de trabajo, consumo y vida determinantes de la enfermedad.

Hay métodos de planificación de salud pública para estimar a nivel técnico qué tipo de servicios debieran situarse a cada nivel a fin de optimizar la eficiencia y eficacia de cada servicio.

Ni qué decir tiene que estas unidades regionales variarían considerablemente de región a región, de autonomía a autonomía, municipio a municipio, dependiendo de los deseos de la población respectiva. Pero esa diversidad necesaria y positiva debiera ocurrir dentro de un marco conceptual acordado a nivel estatal por las autoridades políticas.

Cambio de las prioridades presupuestarias y de formación de personal

La medicina española es excesivamente curativa, hospitalaria, personal y somático-psicológica. Es de gran urgencia que un cambio radical de prioridades se dé dentro de los presupuestos,



El desarrollo tecnológico y la automatización de los procesos industriales origina problemas a nivel individual y colectivo. Los factores ambientales que aparecen en todos los trabajos, son de diversa índole: mecánicos, físicos, químicos y psíquicos. Los conflictos planteados por problemas de inadaptación o deshumanización del trabajo se acrecentan día a día.

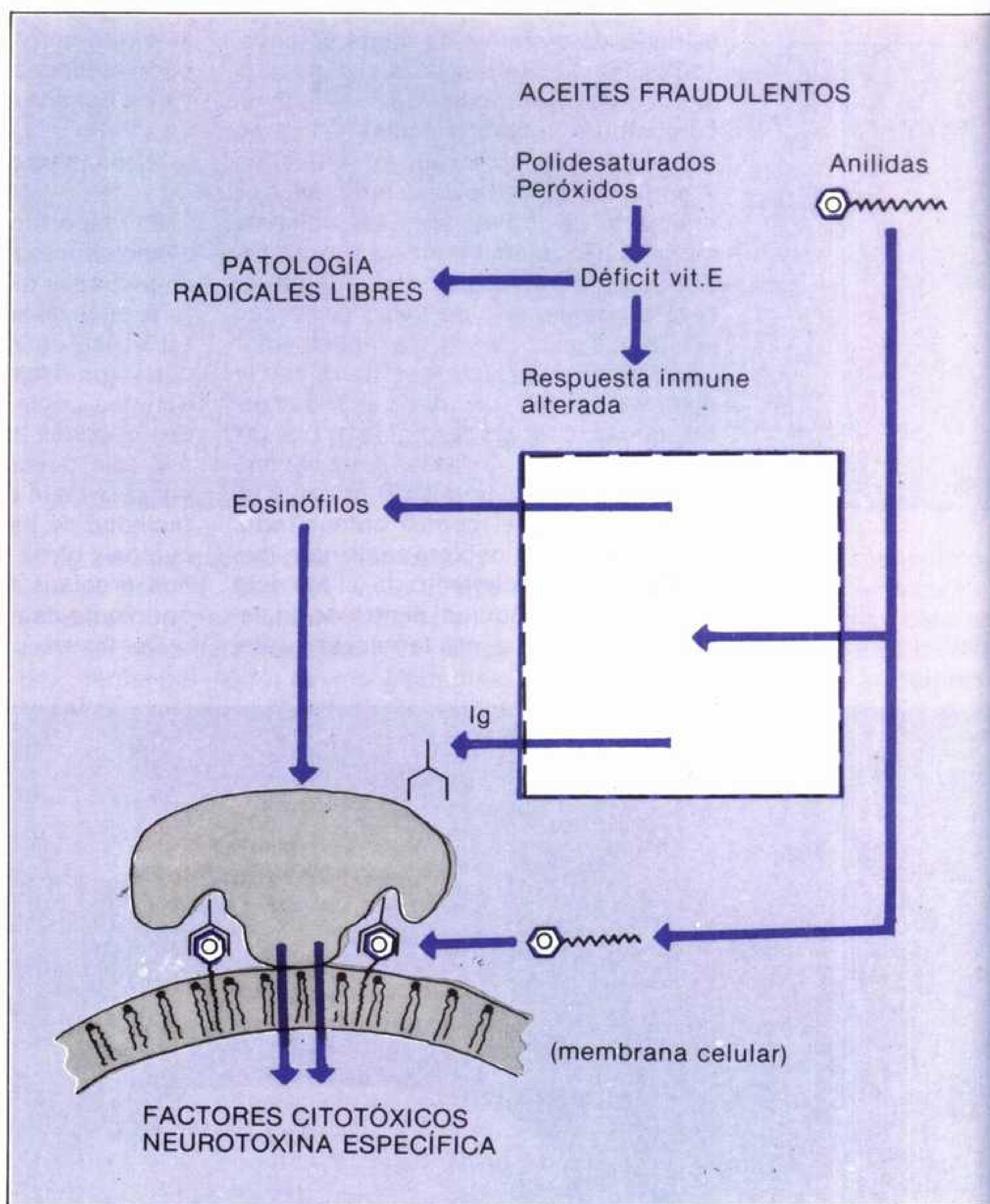
El trato dado al caso de la colza es el resultado más claro de una formación deficiente en salud pública y en la evaluación y resolución de una problemática colectiva.

dando protagonismos a las funciones preventivas, comunitarias, ambientales y laborales en cada una de las regiones y unidades del Sistema Nacional de Salud.

Este cambio de prioridades no tiene por qué debilitar las atenciones médicas hospitalarias, personales, curativas y somático-psicológicas. Una mejor coordinación, integración y planificación de estos servicios permitiría dar, por ejemplo, una atención hospitalaria mejor, más eficiente y lo que es más importante, más humana y eficaz.

El cambio de prioridades implicaría la necesidad de cambiar los recursos existentes y crear otros nuevos. Por ejemplo, es de gran urgencia que los profesionales médicos, de enfermería, y otros cambien su orientación clínica, enseñándoles 1) a trabajar en equipos de salud, en lugar de trabajar aislados en tareas de enfermedad; 2) las labores y funciones ambientales, laborales, preventivas, comunitarias y sociales que hoy en su mayoría desconocen. Hoy al médico español no se le dan conocimientos para establecer las dimensiones colectivas de cualquier problemática, sea de salud o de enfermedad. Por ejemplo, para cuantificar la problemática colectiva de salud y enfermedad es necesario que se sepa epidemiología y estadística, las ciencias de salud pública que permiten enfocar una problemática colectiva. La enseñanza de estas materias en las Facultades de medicina es sumamente limitada. Lo mismo podría decirse en cuanto a medicina laboral, ambiental y social. Estas áreas están prácticamente ausentes del temario médico. Los médicos españoles no son expertos en salud, ni en salud pública. Y no se les ha enseñado, y por lo tanto no saben, cómo evaluar y resolver una problemática colectiva. El caso de la colza es el más claro (véase *Mundo Científico,* n.º 15, p. 602), pero no es el único. Esta situación requiere que se cambie la formación de todo el personal médico y que a la vez se instaure la docencia de la salud pública, creando nuevas especialidades hoy inexistentes en España. Para esa nueva formación es fundamental que se cambien las Facultades de medicina, de enfermería, de ATS, etc. y en su lugar se formen equipos de salud en Facultades de salud, donde la formación se imparta por equipos.

La docencia médica española está encaminada a la reproducción del gran maestro clínico, especialista en una enfermedad u órgano (cardiología, nefrología, neurología), una formación decimonónica, totalmente desfasada e inapropiada para las necesidades del pueblo español. Ese «gran maestro», o sus copias miméticas, no sirven para resolver los problemas de salud del pueblo español. Es experto en una área muy estrecha y específica (órgano o enfermedad) no en la totalidad que se requiere. Es importante subrayar que cuando este profesional planifica con esta mentalidad clínica los servicios médicos lo hace frecuentemente por especialidad clínica (cardiología, nefrología, etc.). Una visión sumamente parcelaria y errónea de lo que es la planificación de salud. Por desgracia, hay ya varios ejemplos en España, tanto en algunos gobiernos autonómicos como en algunos municipios, donde la planificación de los servicios médicos se está realizando, con esta mentalidad clínica, por especialidades. Estos casos son ejemplos, precisamente, de cómo no planificar la salud púbica. Planificar por especialidades como nefrología, neurología, cardiología, etc. presupone que la población es una suma de riñones, nervios, corazones, arterias y venas, etc. Que la derecha planifique en estos términos es lógico. Responde a su concepción biologista e individual de la enfermedad. Pero la izquierda debe romper con esa mentalidad clínica biologista. Tiene que tener una concepción más amplia y renovadora de lo que es salud y enfermedad, viendo a éstas como resultado de intervenciones económico-políticas, en sus versiones laborales, ambientales, sociales y preventivas. Ello requiere un cambio profundo a todos los niveles, incluyendo el nivel de formación profesional. El enfoque sugerido en estos apuntes requiere un cambio en las Facultades de medicina basadas en el hospital. Se requiere un cambio a Facultades de Salud donde los equipos de salud se hagan y sientan responsables, no sólo de aquéllos que van al hospital, sino de todos los pa-



Hipótesis de trabajo acerca de la patogenia del «síndrome tóxico» basada en el carácter inmunogénico de las anilidas y un probable déficit de vitamina E consecuente a la abundancia de ácidos grasos polidesaturados y sus derivados peroxidados en los aceites fraudulentos. La necesidad ineludible de un programa adecuado de salud pública se hace más evidente delante de casos como el conocido del «síndrome tóxico». (Véase *Mundo Científico*, n.º 15, p. 602, «Informe científico sobre el 'síndrome tóxico'».)

cientes y pacientes potenciales —los ciudadanos— de una comunidad que requieren que se promueva su salud, se prevenga su enfermedad y se cure y rehabilite a sus enfermos una vez hayan enfermado. Su unidad didáctica no es el hospital sino la comunidad. Y su área de intervención no habrá de ser sólo el individuo sino, sobre todo, la colectividad.

Democratización

Los servicios de salud pública integrados, coordinados y regionalizados debieran estar democratizados dentro de un Servicio Nacional de Salud. La democratización de este servicio es parte importante de la democratización del Estado. La democratización debiera estar encaminada a establecer los cauces de participación y control de los servicios por parte de los usuarios, ciudadanos, trabajadores, profesionales y otros. Las estrategias de democratización pueden variar considerablemente. Una, por ejemplo, sería el hacer cada unidad dentro de los niveles regionales sujeta a un comité director, un tercio elegido directamente por la comunidad, otro tercio por los trabajadores y empleados del centro y otro tercio nombrado por las autoridades locales (municipio o gobiernos municipales y autonómicos, según el nivel al que la unidad estuviera situada). Naturalmente que esta gestión democratizada de los servicios debiera tener lugar dentro de un marco, garantizado por la actividad normativa en manos de los gobiernos municipales y autonómicos, que fijaría qué tipo de servicios deberían establecerse a cada nivel regional. Por ejemplo, un centro comunitario de atención primaria para cubrir las necesidades de una población de 10 000 habitantes no podría abrir una unidad de coronaria. Pero, este marco normativo debiera ser flexible, a fin de permitir variaciones locales según las necesidades concretas de aquella región. Por ejemplo una región rural requeriría un mayor énfasis en unos servicios que en otros, acaso más adecuados a la población urbana. La población debiera participar activamente en la planificación de los servicios y controlar su gestión.

Ni qué decir tiene, que este esquema de democratización será contestado con gran virulencia por grupos minoritarios médicos que temen perder sus privilegios. El argumento que utilizarán es que el conocimiento que ellos poseen les da la autoridad de dirigir y planificar los servicios médicos. Este argumento es fácil de contrarrestar, demostrando que el médico clínico, en el mejor de los casos, es un experto en la curación de pacientes individuales, pero no tiene ni el conocimiento ni los útiles metodológicos precisos para dirigir y resolver la problemática colectiva, tanto de salud como de enfermedad. Se puede mostrar fácilmente que el escudarse en su competencia con el fin de justificar la retención de privilegios obedece a una concepción corporativista del Estado, heredada del franquismo, que es la causa primera de la crisis médica, hoy, en España.

Hay que subrayar, además, que esas voces corporativistas tampoco representan los intereses de la mayoría de los médicos. Se puede demostrar fácilmente que el desarrollo de un Servicio Nacional de Salud ofrecería al médico mejores condiciones de trabajo que el régimen actual. No hay justificación, por ejemplo, para el desempleo, cuando un médico ve a 30 pacientes en una hora, cuando hay un médico laboral por cada 100 000 obreros, cuando no hay médicos ni profesionales de salud pública, ni de muchas otras áreas necesitadas. Se puede demostrar que un médico, con una formación mejor y más totalizadora, con un equipo mayor y mejor, puede desarrollar una labor mucho más satisfactoria y compensadora que el sistema actual, que beneficia sólo a un sector reducido de la profesión.

Otro punto que cabe subrayar es que el sabotaje y huelgas que esos grupos minoritarios realizarán puede vencerse muy fácilmente. La historia reciente de huelgas médicas en contra de medidas llevadas a cabo por gobiernos socialistas en Chile (Unidad Popular), Saskatchewan (Canadá), Suecia (casos que yo conozco personalmente) es que fracasaron estrepitosamente. La población siempre rechazó esas huelgas al entender que defendían los intereses de un grupo (ya bien) privilegiado y no los de la población. Hay que perderle miedo a la huelga médica. En todos los casos mencionados anteriormente, las intervenciones gubernamentales encaminadas a romper aquel sabotaje y resistencia fueron altamente populares. Es más, la mayoría de médicos no siguió a los saboteadores, y aunque neutrales, terminaron apoyando aquellas medidas por entender que ellos también saldrían beneficiados. Es importantísimo no ver a la profesión médica como una unidad opuesta a la reforma. Hay que demostrar a amplios grupos médicos que la reforma también les beneficiará, y contribuir al aislamiento de los grupos reaccionarios que se presentarán como representantes de todos los médicos, cuando en realidad lo son sólo de una minoría.

Otro punto importante es la necesidad de estimular la participación de los usuarios, trabajadores, representantes de la comunidad, asociaciones de vecinos, movimientos de masa, así como grupos feministas y ecológicos en la planificación y dirección de los servicios de salud. La movilización popular es fundamental para vencer las resistencias que un cambio profundo y necesario de la medicina española creará. Hay muchas maneras y formas de movilizar a la población y ofrecerles los cauces de participación. Hay que subrayar, además, que la población tiene un gran conocimiento en su vida y experiencia diaria sobre salud y enfermedad. Por ejemplo, los obreros de la industria del amianto descubrieron las asbestosis antes que los profesionales. Naturalmente que ellos no descubrieron la entidad clínica. Pero sí supieron antes que nadie que el amianto les estaba perjudicando y dañando, forzando a los investigadores a que buscaran y encontraran aquella entidad. Igualmente, el movimiento feminista ha forzado una redefinición de lo médico, demostrando el carácter social de aquella problemática que el estamento profesional continúa definiendo como meramente biológico. De manera parecida, el movimiento ecológico ha dado visibilidad social a toda una problemática médica que continúa ignorada en su mayor parte por el estamento médico.

Es sumamente importante que la población controle tanto directa como indirectamente (a través de sus representantes) tanto los aparatos de planificación como los de gestión. Así, es necesario que los obreros, tanto directa como indirectamente a través de sus sindicatos, controlen la medicina laboral. En Suecia, por ejemplo, los comités de obreros son los que nombran a los médicos laborales en las fábricas. En consecuencia, los servicios de salud laboral han mejorado notablemente.

En resumidas cuentas, hay que insistir en que si bien la población no sabe si hay que darle antibióticos o antiinflamatorios a un enfermo, sí que sabe y puede y debe decidir (si se le da la información necesaria), si lo que se requiere es un mejoramiento del tratamiento de las aguas residuales o una unidad de coronaria. A la población se le debe informar, por parte de los expertos de salud pública, de cuáles son los costos y consecuencias y beneficios de cada alternativa. Pero es la población la que tiene el derecho de decidir. Y este derecho se lo da no sólo el que sea la población la que paga por los servicios, no sólo porque la población sufre o se beneficia de las decisiones tomadas, sino también porque la población sabe mejor que cualquier grupo de «expertos» qué es lo mejor para sí misma. En definitiva, no se trata aquí de sustituir a unos expertos por otros, sino de subrayar que la población, en su práctica co-

Desarrollar sistemas que permitan alcanzar la salud que el pueblo español ansía y bien se merece.

tidiana, y una vez que se le ha dado la información necesaria, es la que mejor sabe y conoce cómo producir y distribuir sus recursos colectivos.

Contraargumentos

Aquí, en esta sección, quisiera comentar aquellos argumentos que probablemente se alzarán en contra del desarrollo y puesta en práctica de las estrategias de salud pública que yo he subrayado.

Que esta postura es demasiado teórica y ambiciosa

Este argumento ya se ha mencionado en ocasiones de rechazo hacia las ideas aquí expuestas. Mi respuesta es a varios niveles:

a) Es fundamental que las fuerzas progresistas en España sepan dónde quieren ir, cómo hacerlo y con qué costos y oportunidades.

Es urgente que esas fuerzas desarrollen el modelo de salud pública al que quieran llegar. No inmediatamente, naturalmente. Pero es importante que las intervenciones parciales, sectoriales y graduales vayan encaminadas a un objetivo común. Lo importante de un cambio no es tanto su velocidad sino, sobre todo, el sentido y la dirección del mismo. Mientras que para la derecha no es importante tener un modelo de la sociedad a la que aspirar, para la izquierda es fundamental tenerlo. Y eso reza también para el área de la salud pública. Ello permite que las intervenciones graduales lleven una visión globalizadora de acuerdo con el proyecto político.

Aquellos que desechan el explicitar un objetivo y al mismo tiempo quieren ser consecuentes con su posición progresista son también los que rechazan esta estrategia como «teórica», escudándose en un supuesto pragmatismo, no menos «teórico», pero sí mucho más conservador, encaminado a la reproducción del sistema médico actual.

b) Que esta realización es imposible de alcanzar dentro de las coordenadas actuales.

Los que postulan este argumento subestiman el enorme deseo de cambio por parte de la mayoría del pueblo español y sobrestiman el poder de los grupos que se opondrían a la reforma de la salud pública.

Poder es un concepto relativo. Por ejemplo, el poder de los grupos reaccionarios minoritarios dentro de la profesión médica depende de los poderes alternativos que existan para neutralizarlos. Estos poderes alternativos debieran desarrollarse y apoyarse incluso en el seno de la profesión médica. Hay que insistir que en toda reforma, las resistencias médicas se han vencido, incluso con el apoyo de grandes sectores médicos.

c) Que España no tiene recursos para establecer tal reforma.

El problema del sector médico en España no es la falta de recursos monetarios físicos o financieros. Con los recursos actuales podría proveerse un Servicio Nacional de Salud que suministrase unos servicios de salud más eficaces, eficientes y humanos que los actuales. Lo que está claro es que España no tiene los recursos para continuar con el actual sistema. El sistema actual está abocado a la bancarrota e ineficacia. Hay que controlar, por ejemplo, el gasto farmacéutico en España, gasto que alcanza cifras escandalosas. Es bien conocida a nivel internacional la situación bochornosa en que el sector privado farmacéutico utiliza al sector público. Una mera racionalización y control de aquellos gastos dejaría enormes recursos disponibles para cubrir áreas esenciales en la medicina española. El problema no es la cantidad global de recursos que el Estado y la sociedad dedican a la medicina española, sino el control de aquellos recursos y las prioridades que aquel control conlleva. Los recursos que hoy se requieren son los recursos políticos, es decir, la voluntad política para hacerlo.

d) Que es un caso de planificación totalitaria que conlleva una burocratización de la medicina.

Este argumento puede contrarrestarse fácilmente. Lo que aquí se presenta no es un modelo sueco, británico o soviético. El pueblo español desarrollará su propio modelo, nacido de la correlación de fuerzas en la coyuntura histórica actual. Es de esperar y desear que el sistema estatal y los sistemas autonómicos que se crean surjan de una gran participación popular en su diseño y realización. Elementos aquí señalados existen en sociedades capitalistas y poscapitalistas. No se pueden etiquetar bajo fórmulas fáciles.

En cuanto a burocratización, hay que subrayar que la medicina estadounidense (la medicina capitalista por antonomasia) esta más burocratizada (es decir, tiene mayores cantidades de intervenciones y personal administrativo), que la medicina británica o sueca. En definitiva, no se trata de copiar modelos foráneos, sino de desarrollar intervenciones y sistemas que permitan alcanzar la salud que el pueblo español ansía y bien se merece. La democratización del proceso de decisión y planificación con plena participación ciudadana y popular es la mejor garantía de que aquello ocurra. Hoy por hoy, la lucha por la democracia y la lucha por la salud del pueblo son una misma y única lucha.

La fusión en dos dimensiones

■ Comprender cómo funde un sólido parece sencillo: el hecho de que se trate de un problema no resuelto de la física irrita y apasiona a la vez a los investigadores. Estudiar la fusión de un sólido ordinario, es decir masivo, en tres dimensiones, parece relativamente fácil para el experimentador, pero dar una explicación teórica completa del fenómeno parece imposible en la actualidad. En cambio, en dos dimensiones, sucede al revés: con una dimensión menos, los teóricos tienen la labor más fácil y pueden conducir sus cálculos más lejos, pero la realización y la observación de sistemas bidimensionales plantean difíciles problemas experimentales; por tanto, son más bien los modelos teóricos que esperan una confrontación con la experiencia.

En dos dimensiones, el arranque experimental ha sido dado por los estudios realizados sobre capas de gas adsorbidas sobre sustratos sólidos tales como el grafito (*Mundo Científico*, n.º 12, p. 252). Recientemente ha entrado en liza un sistema aun más sencillo: los electrones adsorbidos sobre un sustrato de helio líquido. Las posibilidades de este sistema se han reconocido ya desde hace unos diez años, pero hace poco solamente que se comprende su comportamiento. La primera observación de la solidificación de este «cristal» ha sido realizada en Bell Telephone por C. Grimes y G. Adams,[1] y rápidamente confirmada por otros dos grupos en Jharkov y en Saclay ocupados con el mismo problema. Hoy ya se está en lo que puede llamarse las experiencias de la segunda generación, que trascienden de la simple manifestación del fenómeno, para ensayar directamente las ideas teóricas sobre la fusión.

Un bello acuerdo contestado por la nueva escuela

La primera cosecha de resultados experimentales parece confirmar la idea teórica adelantada hace ya unos diez años por M. Kosterlitz y D. Thouless,[2] entonces en Birmingham: la fusión se efectúa por la aparición de dislocaciones —un tipo de defecto de disposición— más allá de una temperatura correspondiente a la energía necesaria para crearlas. El fundamento de su modelo es que un sólido bidimensional, si bien más deformable que su homólogo tridimensional, guarda las propiedades de un sólido en tanto que en su estructura no aparezcan fracturas o dislocaciones. Éstas alteran fundamentalmente las propiedades mecánicas del sistema, que entonces pierde rápidamente su rigidez y se comporta como un fluido: se dice que funde. Gracia a este modelo, pueden calcularse las variaciones de las constantes elásticas del sólido con la temperatura y establecer una relación sencilla entre sus valores en la fusión y la temperatura de la misma.

Pero este bello acuerdo es contestado por la nueva escuela de experimentadores: los que introducen las leyes fundamentales de la física en cuestión en ordenadores a fin de calcular la evolución estadística y dinámica de una colección de partículas. Este enfoque ofrece la posibilidad de elegir las condiciones físicas deseadas —espacio bidimensional uniforme, ley de interacción entre partículas, condiciones límite— pero sufre de la limitación, impuesta por el tamaño de los ordenadores, del número de partículas y del paso elemental de evolución. Los resultados indican en general una transición líquido-sólido de primer orden (con calor latente y sobrefusión) en contradicción con los cálculos teóricos de B. Halperin y D. Nelson[3] de Harvard, sobre el modelo de dislocaciones ya citado, que preveían una transición «continua» sin calor latente ni sobrefusión, sino un salto brusco de la rigidez a la fusión.

Hacia la reconciliación

Hace solamente algunos meses han aparecido dos artículos que proponen una vía de reconciliación. El primero, de S. Chui[4] de Delaware y de Bell Telephone, hace observar que una organización de las dislocaciones en uniones de grano (pared que separa dos regiones de cristal con orientaciones diferentes) puede transformar la fusión en transición de primer orden. El segundo, de Y. Saito[5] de Jülich, presenta cálculos numéricos sobre un conjunto de dislocaciones, los cuales demuestran que pueden producirse dos tipos de fusión según la importancia de la energía en el seno de una dislocación. Los electrones que flotan sobre el helio líquido pertenecen probablemente al tipo de fusión para el cual la transición es continua, mientras que los gases raros adsorbidos en el grafito revelan el otro tipo. A pesar de todo, quedan simulaciones numéricas para el caso de los electrones que revelan un comportamiento del primer orden, aunque los expertos no sean unánimes en su interpretación.

De hecho, el modelo de fusión por dislocaciones trasciende del campo de la fusión propiamente dicha. Puede ampliarse a otras singularidades, en las que las dislocaciones en una red son sólo un ejemplo. Además, como la forma de la interacción entre partículas constituyentes no es explícita (sino en la energía interna), este mecanismo puede aplicarse perfectamente a otros sistemas bidimensionales tales como las películas de superfluidos o de cristales líquidos. Sin embargo, una previsión particular de la fusión de una red intriga bastante a los físicos. Se trata de una observación presentada por Halperin y Nelson,[3] consistente en que si una dislocación guarda la memoria de la orientación de la red, la fusión puede realizarse en dos etapas. El sólido bidimensional, a baja temperatura, pasaría por una fase líquida orientada (llamada hexática) antes de transformarse en fase líquida isotropa (clásica), a alta temperatura. Desafortunadamente, no parece fácil poner de manifiesto esta fase hexática, que es posible que dé respuesta a la pregunta: ¿cómo funde un sólido?

Librarse de la tercera dimensión

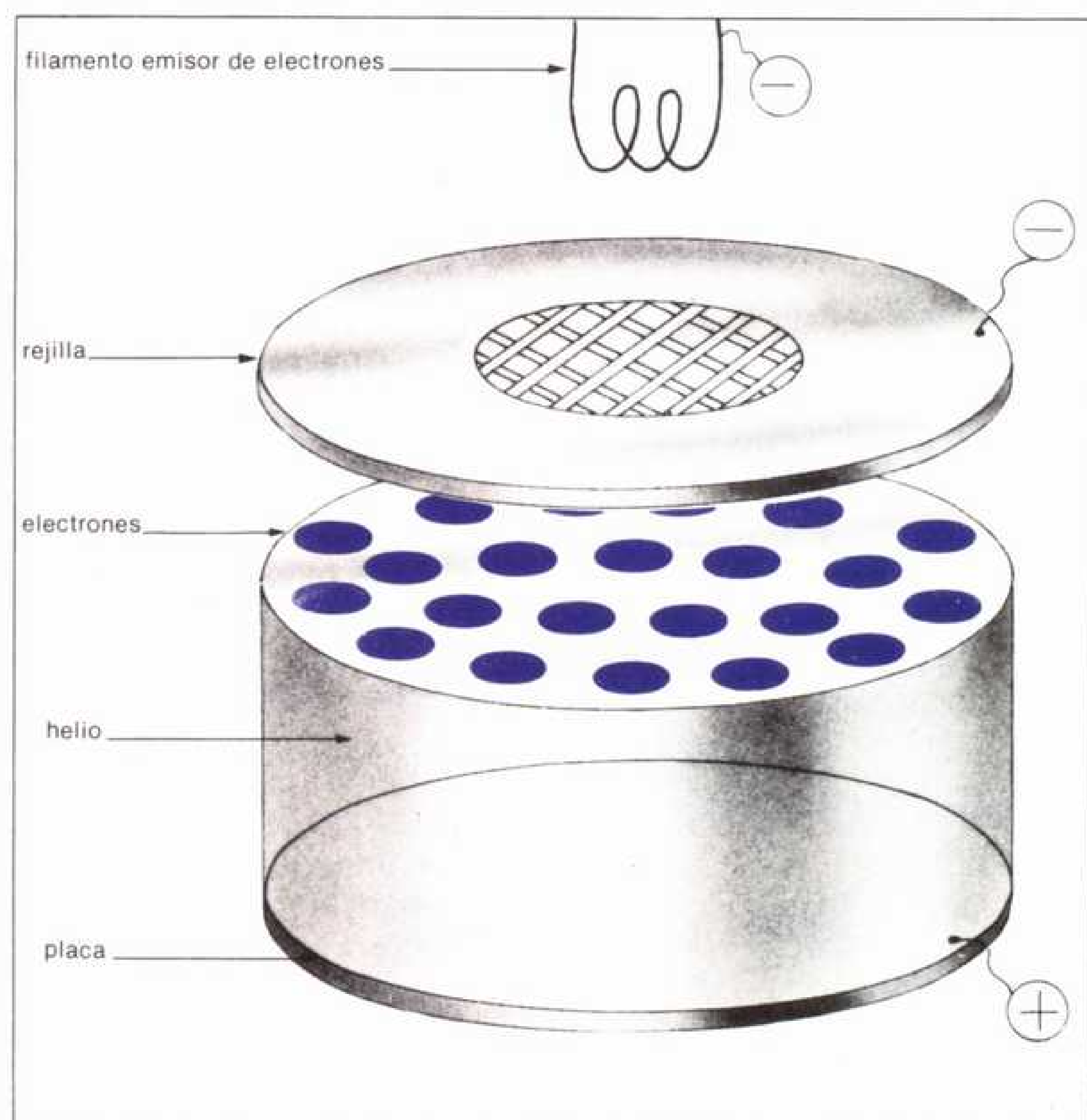
Sin experiencias, todos estos modelos siguen siendo simples constructos; también sería necesario concebir estudios experimentales de la materia en dos dimensiones. Fue en Nancy, a finales de los años sesenta, cuando se inauguró la era experimental con las mediciones efectuadas por A. Thomy y X. Duval sobre capas de átomos de gases raros, se dice que adsorbidos en la superficie de una probeta de grafito obtenida en hojas.[6] Eligieron este material porque los defectos cristalinos son raros y ofrece la posibilidad de realizar superficies específicas muy grandes, del orden de algunos m^2 por cm^3 de grafito. Esta última ventaja no es despreciable cuando se sabe que el experimentador, al perder el apilamiento de las partículas en la tercera dimensión, pierde al mismo tiempo un factor del orden de 10 millones sobre el número de partículas, desventaja que intenta compensar parcialmente aumentando la superficie adsorbente. Los métodos de obtención y características de las capas adsorbidas están actualmente bien dominados, y el estudio de sus propiedades de estructura ha permitido introdu-

(1) C.C. Grimes, G. Adams, *Phys. Rev. Lett.*, vol. *42*, 26, 795, 1979.
(2) J.M. Kosterlitz, D.J. Thouless, *Journal of Physics*, *C6*, 1181, 1973.
(3) D.R. Nelson, B.I. Halperin, *Phys. Rev. Lett.*, *B19*, 2457, 1979.
(4) S. Chui, *Phys. Rev. Lett.*, *48*, 933, 1982.
(5) Y. Saito, *Phys. Rev. Lett.*, *48*, 1114, 1982.
(6) A. Thomy, X. Duval, J. Regnier, *Surface Science Reports*, *1*, 1, 1981.
(7) F. Galiet, G. Deville, A. Valdes, F. Williams, Informe CEA Saclay, en prensa.

¿Cómo funde un sólido?
Para responder a esta sencilla pregunta se necesita un arsenal teórico y experimental muy elaborado.

cir nuevos conceptos como la conmensurabilidad, lo que traduce el hecho de que el sustrato, que en este caso es un cristal periódico, tiene tendencia a imponer su propio orden a los átomos adsorbidos, que no es necesariamente el que los átomos adoptarían por sus solas interacciones. Si la presencia del sustraro enriquece, pues, el problema, también lo complica y puede ser un inconveniente para el estudio de las propiedades propias del orden bidimensional. Por esta razón ha aparecido otra generación de experimentos en los que se intenta eludir esta complicación; los electrones que flotan en el helio son de éstos. Este sistema ha vuelto a ser adoptado por varios equipos en todo el mundo, lo que nos incita a plantear la pregunta: ¿por qué electrones flotantes? Antes que nada, para que constituyan un sistema fácilmente controlable (véase la figura). En efecto, las bajas temperaturas requeridas, entre 0,1 y 1 grado Kelvin, se alcanzan fácilmente en la actualidad, pero sobre todo, la reproducibilidad de los experimentos es muy buena gracias a la pureza intrínseca del helio líquido y a la precisión con que puede controlarse el depósito de la capa. Además, los electrones flotantes forman un cristal bidimensional casi ideal en más de un aspecto. Efectivamente, el sustrato, el helio en esta ocasión, es líquido y, por tanto, no tiene rugosidades a la escala de las distancias entre electrones. En otros términos, esto significa que no presenta ninguna red cristalina y por tanto ningún potencial periódico, y que sólo los electrones imponen la periodicidad cuando está en fase sólida. En segundo lugar, las densidades electrónicas logradas son del orden de 10^8 a 10^9 electrones por cm^2, lo que conduce a una distancia entre partículas de 300 a 1000 nm. Este valor es muy netamente superior a la imprecisión de localización en el plano perpendicular, que no puede exceder de 5 mm. distancia de la capa de electrones a la superficie del helio. De ello se deduce que el criterio geométrico de bidimensionalidad queda perfectamente satisfecho. Finalmente, no sólo la interacción entre partículas es simple, monótona y muy conocida porque se trata de la interacción coulombiana, sino que es bastante más fuerte que la interacción electrón-sustrato, lo que permite considerar la capa electrónica como «casi» aislada de su soporte.

Para formar una capa de electrones flotantes, sistema ideal para estudiar la fusión en dos dimensiones, se ha imaginado el siguiente montaje experimental: una caja estanca está llena parcialmente de helio cuatro líquido llevado aproximadamente a 1,2 K. En su interior, un condensador plano compuesto por un electrodo positivo (la placa) sumergido en el helio y por un electrodo negativo situado encima de la superficie, formado por una rejilla transparente a los electrones. Un filamento de tungsteno muy fino, situado encima de la rejilla, emite electrones cuando es calentado; éstos son empujados, por una parte, hacia la rejilla y la placa por un campo eléctrico y, por la otra, frenados por las colisiones con los átomos del vapor de helio. Llegan a la superficie con una energía bastante pequeña, inferior a la barrera de potencial de 1 eV que se opone a su penetración en el líquido. Se quedarán cerca de la superficie —a una distancia aproximada de 5 mm— y se acumularán hasta que su densidad de carga anule el campo eléctrico existente entre la superficie y la rejilla: la superficie está entonces «saturada» y la densidad en saturación está controlada por el potencial rejilla-placa. El sistema de electrones depositados de esta forma es muy estable, y si se permanece a baja temperatura evitando las vibraciones, puede conservarse durante horas e incluso días. Los dos electrodos, de unos 30 mm de diámetro, distan entre sí de 2 a 3 mm.



Todo un campo por explorar

Si los electrones flotantes suscitan un tal interés, también es porque se prestan a toda una serie de mediciones. En efecto, como los electrones son partículas cargadas, interaccionan fuertemente con un campo electromagnético exterior. Resulta afortunado que esta interacción sea fuerte, ya que compensa la debilidad de la densidad electrónica; con 10^7 electrones ya se obtiene una señal detectable. Por tanto, el campo electromagnético es el útil privilegiado para estudiar los cristales de electrones y seguir su fusión. La transición de una fase ordenada a baja temperatura (gran densidad) hacia una fase desordenada a temperatura más elevada (poca densidad), al modificar las propiedades mecánicas del sistema, da como resultado una variación de la respuesta dinámica ante cualquier campo perturbador exterior. Ésta es la respuesta que se sigue en el transcurso de los experimentos que, sea cual sea su objeto, permiten delimitar la frontera entre las fases líquidas y sólidas. En otras palabras, si se desea, proporcionan el diagrama de fase del sistema de los electrones flotantes.

De esta forma, el equipo de Bell Telephone observó la primera indicación de la solidificación poniendo de manifiesto una modificación de la dinámica del sistema que proviene de hecho de la acrecentada organización de la fase sólida. Al interpretar sus resultados, llegaron a la conclusión de que la fase sólida tenía una estructura triangular. Poco tiempo después, unos equipos de Jharkov y de Saclay confirmaban esta conclusión con experimentos diferentes. Hace algunos meses, un cuarto equipo, de Cleveland en Estados Unidos, llegó a los mismos resultados. En Saclay se ha concebido un experimento que permite evaluar el módulo de rigidez, parámetro que informa sobre la naturaleza de la fusión.[7] Se ha hallado que este parámetro varía en función de la temperatura según una curva cuyo trazado general es el que había sido predicho por el modelo de fusión por dislocaciones. Además, sus resultados verifican, con un margen de error de aproximadamente 10 %, la relación establecida en el marco de este modelo entre los módulos de elasticidad y la temperatura de fusión. Por tanto, existe una fuerte presunción, aunque no una prueba absoluta, de que este mecanismo sea el que realmente interviene.

Entre los experimentos actualmente en curso en Saclay, hay uno que debería permitir ver los detalles de la estructura de la fase sólida. Recurre a la difracción de las ondas de superficie del helio. Otros proyectos tienen por finalidad medir el potencial químico y el calor específico del sólido de dos dimensiones. Si tuviesen éxito, podría dilucidarse la cuestión del orden de la transición.

Hasta ahora, ninguna experiencia ha permitido explorar la fase llamada «hexática» que, según el diagrama de fase, se encontraría envuelta entre la línea de separación líquido-sólido y otra curva de la misma forma ligeramente desplazada. ¿Revelará el mecanismo de la fusión en dos... y después en tres dimensiones, como algunos creen, o volverá a poner en discusión los modelos y teorías establecidos? Una vez más puede verse que los fenómenos más sencillos en apariencia no son los que se entregan más fácilmente.

Gérard Deville Christian Gattli, Francis Williams.

Informaciones y noticias

La nueva biología

Boletín Informativo 117
Fundación Juan March



Julio-Agosto 1982

En el boletín 117 de la Fundación March se publica un interesante resumen del ciclo sobre «La nueva biología» en el que han participado tres científicos extranjeros y cinco españoles, se ha desarrollado en la sede de la Fundación Juan March los días, 10, 17, 24 y 31 del pasado mes de mayo. Fueron ponentes de las distintas sesiones: el premio Nobel de Medicina, Rodney Porter; el director del Laboratorio de Biología Molecular de Cambridge, Sydney Brenner; el director del Departamento de Inmunología Molecular del Medical Research Council, también de Cambridge, César Milstein; y el profesor de investigación en el Centro de Biología Molecular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Antonio García Bellido.

La introducción y presentación de cada sesión estuvo a cargo, respectivamente, de los profesores: Federico Mayor Zaragoza, Catedrático de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad Autonóma de Madrid; José M. Kreisler, Jefe del Servicio de Inmunología de la Clínica Puerta de Hierro, de Madrid; Julio Rodríguez Villanueva, Catedrático de Microbiología de la Universidad de Salamanca; y Carlos Asensio, Catedrático de Bioquímica de la Universidad de Alcalá de Henares.

Becas del Consejo Británico

Condiciones básicas

El Consejo Británico se complace en ofrecer un cierto número de becas a españoles comprendidos entre las edades de 25 a 35 años, que deseen realizar estudios de especialización profesional en el Reino Unido durante el curso académico 1983/84.

Estas becas se ofrecen a:

I. Licenciados Universitarios y de Escuelas Superiores de Ingeniería y Arquitectura.
II. Profesores de Inglés, que sean licenciados en Filología Inglesa, de Universidades, Institutos de Bachillerato, Escuelas Universitarias, Escuelas Nacionales.
III. Graduados en Escuelas de Bellas Artes y Conservatorios.
IV. Para médicos que no quieren practicar la medicina, pero que deseen hacer trabajos de laboratorio o estudiar aspectos de la sanidad pública.

Los candidatos deberán haber completado por lo menos un año de experiencia profesional, después de terminar la carrera.

Todos los candidatos serán sometidos a un examen de inglés. El Consejo Británico quiere aclarar que no tendrá en cuenta la solicitud de ningún candidato que en el momento de su presentación no posea los conocimientos de inglés suficientes para seguir sus estudios en el Reino Unido sin dificultad.

Dotación económica

Las becas del British Council son solamente para un curso académico de aproximadamente diez meses, e incluye: derechos de matrícula; ayuda para manutención y alojamiento; subvención para libros y gastos de viaje de estudios dentro de Gran Bretaña.

Convocatoria

La convocatoria para el curso académico 1983/84 estará abierta desde el 1 de agosto y se cerrará el 30 de noviembre de 1982. Las pruebas de selección tendrán lugar en enero de 1983.

Presentación de documentación para las becas:

Todos los candidatos deberán presentar la siguiente documentación antes del 30 de noviembre de 1982 en las oficinas del Consejo Británico en Madrid (Almagro, 5), Barcelona (Amigó, 83), Valencia (Pascual y Genís, 12) y el Instituto Británico en Sevilla (Federico Rubio, 14).

I. Dos ejemplares debidamente cumplimentados del formulario impreso del British Council.
II. Una carta escrita por el candidato, en inglés dirigida al Representante del Consejo Británico, especificando con todo detalle el programa de estudios que se propone realizar, los detalles de su carrera profesional y el trabajo al que piensa dedicarse cuando regrese a España.
III. Dos cartas de presentación en inglés, o con su traducción al inglés si están escritas en otro idioma, de dos personas que conozcan al candidato profesionalmente y apoyen su petición. Deberán estar dirigidas al Representante del Consejo Británico.
IV. Una fotocopia de los títulos universitarios, con su traducción al inglés.
V. Certificado Académico Personal.
VI. Partida de nacimiento con una traducción al inglés, que puede hacer el propio interesado y no tiene que estar legalizada.

THE BRITISH COUNCIL SPAIN

BECAS
DEL
CONSEJO BRITANICO

1983-84

Simposio nacional sobre acuicultura de esteros



SIMPOSIO NACIONAL
SOBRE
ACUICULTURA DE ESTEROS

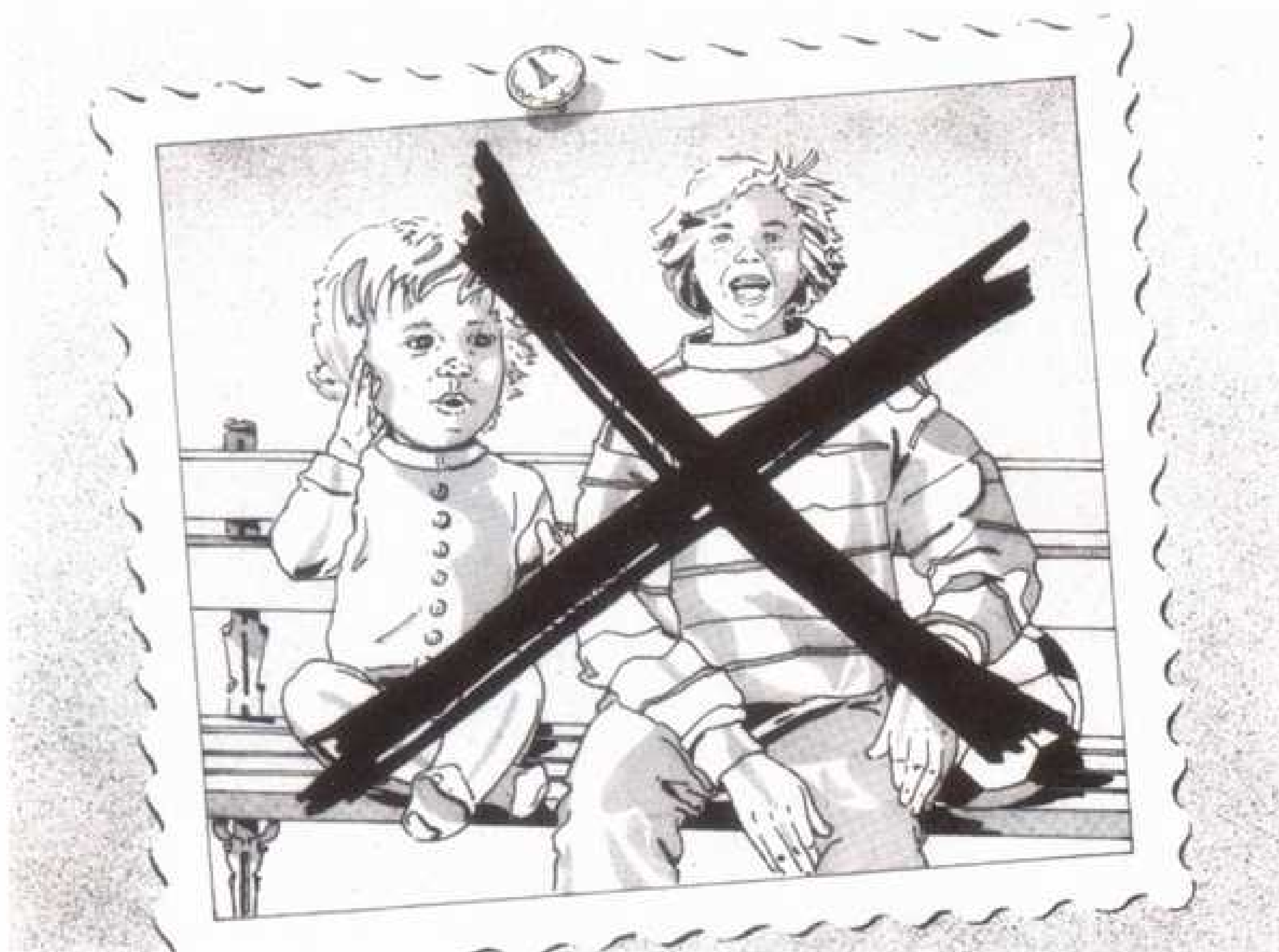
Del 2 al 5 de noviembre de 1982
CADIZ
ESPAÑA

ORGANIZADO POR EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PESQUERAS DE CADIZ, BAJO LOS AUSPICIOS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES PESQUERAS (CENIP), DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS (CSIC).

Para más información: Dr. A.M. Arias. Instituto de Investigaciones Pesqueras. Puerto Pesquero s/n. Cádiz (España).

¿Armas biológicas en perspectiva

Es posible que se acuerden del alboroto que se produjo hace algunos años en la Unión Soviética a raíz de una epidemia de pleuresías mortales debidas al ántrax. La causa habría sido la diseminación accidental de *Bacillus anthraces* en las inmediaciones de un centro de investigación militar. Como es de suponer, Estados Unidos no van a la zaga, y S.H. Leppla del centro de investigación del ejército en Fort Detrick acaba de publicar unos resultados muy notables sobre cómo actúa este bacilo mortal (*Proc. Natl. Acad. Sci.* USA, *79*, 3162, 1982). La toxina del ántrax se compone de tres proteínas: un antígeno de protección (AP), un factor letal (FL) y un factor inflamatorio (FI). Tomadas aisladamente, estas proteínas son inofensivas. Pero la inyección de AP y de FL mata ratas en menos de sesenta minutos, mientras que la pareja AP-FI causa un violento edema en la piel de los roedores. Hasta hoy se ignoraba todo acerca de estas proteínas salvo, quizás, el papel de AP que permite la formación de los factores FL y FI en el seno de la célula huésped. El sorprendente descubrimiento de Leppla estriba en que FI es un enzima, y un enzima críptico, una *adenilato ciclasa.* Al penetrar en la célula huésped, FI se convierte en una proteína activa que, a partir del ATP celular, sintetiza enormes cantidades de AMP cíclico. Ahora bien, como se sabe, esta última molécula controla el conjunto del metabolismo celular y provoca en exceso el fenómeno inflamatorio. Hasta el presente, las toxinas conocidas inhibían las actividades enzimáticas. Se observa por primera vez que una toxina puede estar dotada de actividad enzimática y, así, perturbar la buena armonización del metabolismo.



Del primer niño al último ¿cuál es el más inteligente?

En 1975, R.B. Zajonc, de la universidad de Michigan en Estados Unidos, proponía una teoría —bautizada «modelo de confluencia»— que pretendía explicar las variaciones del desarrollo intelectual en función del rango de nacimiento de un individuo en su familia, así como el número de nacimientos en esta misma familia y de su espaciamiento (véase *La Reherche, 71,* 890, 1976). Tras ciertos éxitos iniciales, que llegaron hasta la publicación en las columnas de *Science* (*192,* 227, 1976) —lo cual para una teoría psicológica no sucede todos los días— el modelo de confluencia de Zajonc parece haber topado ahora con serias dificultades. Así, R.C. Galbraith, de la universidad de Utah, en un estudio realizado en 15 000 individuos ha puesto de manifiesto la ausencia de relación entre el nivel de desarrollo intelectual de sus sujetos y la configuración demográfica de su familia (número y espaciamiento de los nacimientos) y su rango de nacimiento (*Developmental Psychology, 18,* 151, 1982). Por contra, y estos resultados ya son clásicos, Galbraith constata que el nivel intelectual crece con la cualificación intelectual del padre y con el nivel de educación de los ascendientes.

En la comunidad científica es propio el no dejar sin respuesta un desdén. De ahí la réplica de Zajonc (*Developmental Psychology, 18,* 174, 1982) en el sentido de que Galbraith no ha comprendido nada del modelo de confluencia y la contraréplica de Galbraith (*Developmental Psychology, 18,* 181, 1982) para quien es Zajonc el que se hace el sordo y ha leído mal sus críticas.

Finalmente, al seguir los polemistas tan distanciados al término de este cambio de pareceres tan estéril como poco cortés, es a Y. Brackbill y P.L. Nichols de la universidad de Florida a quienes debemos algo más de claridad en ese debate sobre el modelo de confluencia. En una investigación efectuada en 53 000 individuos, estos autores llegan en realidad a las mismas conclusiones que Galbraith: independencia del nivel intelectual frente a la configuración demográfica de la familia y del rango de nacimiento, y determinación de este nivel por variables sociales (*Developmental Psychology, 18,* 192, 1982).

No cabe esperar sino que la convergencia de los resultados de Galbraith, por una parte, y de Brackbill y Nichols, por otra, evitará que asistamos al nacimiento de una nueva cuadratura del círculo, del género de la que, en psicología, consiste en preguntarse si la inteligencia depende más bien de la herencia o del medio.

Un factor del sueño en el hombre

Desde el inicio del siglo, algunos neurobiólogos se han esforzado por inducir el sueño en perros, inyectados con sangre de congéneres privados del mismo. Su hipótesis partía de la constatación de que el sueño sobreviene al fin de la jornada, tras un período de actividad cerebral. Se podría suponer que esta actividad diurna del cerebro conduciría a la acumulación de una especie de toxina, que cuando hubiera alcanzado un determinado nivel induciría el sueño. Este último estado realizaría una especie de «detoxificación» hasta el momento en que pudiera reemprenderse la actividad cerebral (lo que constituiría el despertar). La búsqueda de un factor humoral del sueño ha sido negativa durante medio siglo, y sólo a partir de los años 1960 varios equipos internacionales parecen haber encontrado en el conejo, la cabra o la rata unas sustancias capaces de inducir unos estados parecidos a ciertas fases del sueño en los animales nerviosos (*La Recherche*, n.° 83, p. 992, nov. 1977).

Ahora acaba de ser detectado un factor del sueño en el hombre. J.M. Krueger, J.R. Pappenheimer, M.I. Karnovsky, de la universidad de Harvard, han aislado y purificado a partir de 4,5 toneladas de orina humana 30 microgramos de un glucopéptido. Éste, inyectado a un conejo, provoca un aumento del 50 % de las ondas lentas del sueño (una actividad electroencefalográfica característica de una fase dada del sueño) (*J. of Biol. Chem., 257,* 1664, 1982; *Science, 216,* 1400, 1982). El glucopéptido, que actúa a la muy débil dosis de 5 picomoles por kilo de peso corporal, es muy próximo al «factor S» inductor del sueño que Pappenheimer halló en 1967 en la cabra. Los primeros análisis bioquímicos revelan una característica muy sorprendente de esta sustancia: consiste en una combinación de aminoácidos, ácido muránico y ácido diaminopimélico, compuestos estos dos últimos, que jamás habían sido observados en los tejidos de los mamíferos y que son característicos de las... ¡paredes de las bacterias! Los investigadores pretenden establecer ahora la fórmula exacta de este glucopéptido y averiguar si es más abundante en los individuos privados de sueño que en los insomnes. ¿Podría contribuir el «factor S» humano a la consecución de nuevos hipnóticos, más naturales que los barbitúricos u otros somníferos vendidos actualmente en las farmacias?

¿Está infestado de virus el cromosoma masculino?

En los mamíferos, el cromosoma Y determ[ina] normalmente el sexo masculino. As[í] ocurre tanto en el hombre como en el ratón, son muchos los laboratorios que han empren[dido] investigaciones muy activas para dete[rminar], a nivel molecular, el significado de es[ta] diferenciación. Al efecto, el medio más pro[metedor] estriba en comprender la organiza[ción] del cromosoma Y, es decir, en investiga[r] en el ratón fragmentos del «ADN masculino». El trabajo progresa lentamente, en especia[l] por la dificultad del aislamiento de prepara[ciones] de cromosoma Y purificado. Pero aca[so] el progreso sea mucho más rápido tras e[l] descubrimiento hecho por un grupo del Jack[son] Laboratory, en Bar Harbor (Maine, Esta[dos] Unidos) (S.J. Philips et al. *Nature, 297,* 241, 1982) de que en algunos ratones al me[nos], el ADN del cromosoma Y integra numero[sos] virus. En una matriz de ratón, el 3 % del ADN del cromosoma Y es de origen viral. Una concentración así no se encuentra en ningún cromosoma de la hembra. ¿Por qué este fenómeno? ¿Cuál es la función de estos virus integrados? Hasta el momento no hay respuesta, pero no hay que apresurarse en conclui[r] que, después de todo, el cromosoma masculino no es sino una gruesa partícula infecciosa...

Una mancha solar insólita

Los astrónomos del observatorio nacional de Kitt-Peak, Estados Unidos, han observado una mancha solar en forma de espiral, que hasta los veteranos de la observación del Sol no han dudado en calificar de «inédita», según el informe de la National Science Foundation (NSF). El doctor William Livingston, un experto de Kitt-Peak, en actividad solar describe la mancha espiral como «auténtica curiosidad, fenómeno rarísimo» (véase foto).

De hecho, las manchas solares constituyen la única manifestación solar detectable a simple vista. Aparecen como superficies oscuras: regiones del Sol relativamente frías, en el interior de las cuales el campo magnético es muy elevado y cuya temperatura es inferior en 2 000 K a la media de la fotosfera. El tamaño medio de una mancha es del orden de 10 000 kilómetros, pero ya han sido señaladas



manchas mucho mayores, de más de 150 000 kilómetros. Normalmente, si las condiciones de la observación son buenas, en las fotografías se revelan como agujeros oscuros de forma irregular.

La mancha espiral observada desde Kitt-Peak ha mantenido su forma durante dos días antes de quebrarse. Las erupciones del Sol estrechamente relacionadas con unas manchas tan grandes son enormes y pueden afectar a la ionosfera terrestre provocando perturbaciones en las redes de comunicación. «Los científicos temieron que esta mancha solar, extrañamente parecida por su forma a una galaxia espiral, engendrara erupciones peligrosas. No ha sucedido así» ha manifestado el Dr. Livingston. Ha habido, pues más miedo que daño. (Foto The Kitt-Peak Observatory.)

Hombres-simios de cuatro millones de años

Hasta hoy, los fósiles de la familia humana más antiguos, descubiertos en Etiopía y Tanzania datan de 3,6 millones de años. Para algunos paleontólogos constituyen la huella más remota de los Australopitecos, primos desaparecidos de la rama humana. Para otros, son los antepasados comunes de los Australopitecos y del hombre moderno, los *Australopithecus afarensis* auténticos hombres-simios que marchaban como el hombre, pero poseían un cerebro del tamaño del de un chimpancé.

Los descubrimientos hechos recientemente en Etiopía de una parte de un fémur y fragmentos de un cráneo aportan elementos nuevos. Estos restos fósiles, de 4 millones de años de edad, han sido actualizados por el equipo de J. Desmond Clark (universidad de California). En opinión de Tim D. White, paleontólogo de la expedición e investigador en la universidad de Berkeley, el fémur descubierto testimonia una locomoción bípeda, y los fragmentos craneales demuestran una capacidad muy débil del cerebro. Por otra parte, White subraya que no hay ningún instrumento prehistórico que date de esta época.

Estos fósiles, cuyo descubrimiento ha sido anunciado por la National Science Foundation (comunicado de prensa, 21 de junio 1982), refuerzan la tesis del *Australopithecus afarensis*. La adquisición de la bipedia en este hombre-simio se revela muy anterior (algunos millones de años) al desarrollo del cerebro y a la aparición de las competencias tecnológicas propias de los fósiles humanos más recientes.

Señalemos que estos restos no conciernen más que a un aspecto de los descubrimientos realizados en el paraje etíope, que decididamente se revela muy rico pues en él han sido descubierto igualmente instrumentos que datan de 1,5 millones de años, huellas animales de aproximadamente 6 millones de años y, sobre todo, un conjunto de fósiles animales que abarcan casi 6 millones de años.

En India mueren menos mujeres

Los primeros resultados del censo realizado en 1981 en India acaban de ser publicados, con notable rapidez habida cuenta de la difícil situación de este país en el campo político y económico así como de la amplitud de las operaciones cuando se trata de censar a más de 684 millones de individuos. Armindo Miranda, del Institut Michelsen de Bergen (Noruega), analiza estos resultados provisionales en *Population, 2,* 406, 1982 y constata, por ejemplo, que en diez años la tasa de crecimiento de la población no ha disminuido: ha permanecido prácticamente constante y del orden del 2,2 % por año de media. ¿Una piedra en el jardín de los antinatalistas? He ahí, en efecto, motivo para renovar la polémica sobre la política de reducción de nacimientos aplicada por el gobierno de la Sra. Ghandi. El primer balance que se puede extraer de estas primeras cifras indica, también, que las desigualdades subsisten, ya sea entre individuos o entre estados, en el campo demográfico como en el terreno social (alfabetización). La única desigualdad importante que tiende a disminuir es la sobremortalidad femenina. Tradicionalmente India forma parte del pequeño número de países donde aquélla ha sido siempre muy importante. Por primera vez desde 1921, la sobremortalidad femenina disminuye, probablemente debido al descenso de mortalidad maternal. Así, quizás esté a punto de desaparecer una desigualdad fundamental; en consecuencia, cabe preguntarse si ello no representará un signo, acaso de cambio en la condición de la mujer hindú.

¿Cuáles serán las consecuencias políticas de esta noticia? La prensa india se ha ocupado extensamente de estos resultados y nuevamente ha pasado a primer plano la cuestión demográfica, en tanto que la Sra. Ghandi, desde su regreso al poder, no ha precisado todavía cuál será su política en esta materia.

Boson Z°: una nueva manifestación de su existencia

Confirmando las medidas realizadas por los grupos Cello, Jade y Tasso en el anillo de colisión electrón-positrón Petra (Hamburgo, República Federal de Alemania), la publicación de nuevos resultados por el grupo Mark-J que dirige S. Ting, premio Nobel de física (*Phys. Rev. Lett., 48,* 1701, 1982), aparece como un éxito de las teorías llamadas electrodébiles, que unifican las interacciones débiles y electromagnéticas.

Una de las predicciones de estas teorías es la existencia de tres partículas denominadas «bosones intermediarios» o más simplemente W^+, W^- y Z°, sillar clave de dichas teorías, pero hasta hoy jamás observadas en estado libre a causa de su masa demasiado elevada (aproximadamente 90 veces la del protón). Por contra, un efecto debido a la existencia de una de ellas —el Z°— ha sido medido en Petra en la reacción $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$, donde un electrón y un positrón —su antipartícula— se anulan para dar un par de muones ($\mu^+\mu^-$). En el marco de la teoría electrodébil, esta reacción se efectúa, en el estado intermediario, ya con cambio de un fotón, ya con cambio de un Z°. La interferencia entre estos dos procesos ha sido medida en Petra, y coincide con las predicciones del modelo unificado de Glashow, Weinberg y Salam constituyendo, pues, una nueva prueba de la existencia del boson intermediario Z°, que en la actualidad es una de las partículas más investigadas en toda la física corpuscular.

Un desconocido que todos los químicos creían conocer

Desde hace unos decenios, los químicos creen sintetizar muestras de formaldehido semicarbazona y ¡hete ahí! que sendos equipos de la universidad de Tejas y de la universidad de Neguev anuncian que no hay nada de ello (*J. Org. Chem., 47,* 2217, 1982). En su opinión, el compuesto que se prepara a partir de una mezcla de formaldehido y semicarbazida no es el producto buscado. Puede que el origen del error se remonte a la primera síntesis, en 1917, gracias a la cual se fijó de una vez por todas el punto de fusión del producto puro. Cabe que fuera puro, pero no era el bueno; y así, generaciones de químicos continuaron utilizando este valor como criterio de identificación. M. Pomerantz y sus colaboradores insinúan que el formaldehido semicarbazona se obtiene mezclando soluciones orgánicas de diazometano y de nitrocarbonamida a temperatura ambiente. Seguiremos la noticia...

Los pinches amenazados por los robots

El legendario avance tecnológico de los japoneses en materia de robots se ha confirmado una vez más en la exposición internacional de robótica de París. El constructor Taiyo presentó un brazo manipulador capaz de clarificar y dosificar, no menos que de efectuar tareas dignas de un auténtico bodeguero. En una pastelería, su pinza prevista de jeringas, pinzas o cubos le sirve para decorar tartas de Navidad, escribir «Feliz aniversario», untar tostadas... Este robot pastelero tiene un competidor inglés dotado de reconocimiento visual, que decora chocolate en una bombonería británica. Ha sido presentado por A.J. Cronsshaw, de Patscenter International, en el congreso internacional de robótica. ¿Para cuándo los robots cocineros?

Del gas en las aglomeraciones globulares

Las aglomeraciones globulares, conjuntos de decenas o centenas de millares de estrellas formadas muy pronto en la evolución del universo, circulan en una zona más o menos esférica en torno a nuestra galaxia. *A priori* podría esperarse encontrar gas en ellas, dado que las estrellas, hacia el fin de su evolución, lo pierden en cantidad importante. Sin embargo, a pesar de las numerosas investigaciones realizadas con radio y óptica, dicho gas no ha sido nunca detectado. Una posible solución a este dilema es que el gas es barrido fuera de la aglomeración desde el momen-

to en que es expulsado por las estrellas. Cabe considerar al efecto dos procesos: bien el gas es eyectado a gran velocidad bien es arrancado en el curso del desplazamiento de la aglomeración globular en un hipotético «gas ambiente». Cualquiera que sea el proceso considerado, se cuenta con que el mismo gas de la aglomeración, o mejor lo que de él queda, resulte fuertemente recalentado hasta una temperatura de unos miles de grados. Efectivamente, una colaboración Estados Unidos-Canadá (F. Hartwick, A. Cowley, J. Grindlay, *Astrophysical Journal Letters*, 254, L11, 1982) acaba de descubrir en tres aglomeraciones globulares, gracias al satélite *Einstein*, una emisión extendida de rayos X que no puede proceder de las estrellas sino que es originada por este gas caliente. Las medidas localizan el gas de manera perfectamente asimétrica en relación al centro de la aglomeración, lo que induce a pensar que, efectivamente, hay interacción con un «gas ambiente», cuya existencia, de largo sospechada, resulta ahora en extremo probable en virtud de las observaciones realizadas por el satélite internacional *Ultraviolet Explorer*.

¿Qué se oculta detrás de esta pintura?

¿Se podía prever que los algoritmos discurridos para tratar, cuantificar y analizar las imágenes recogidas por satélites o por ingenios espaciales no tripulados se revelarían útiles un día en los laboratorios de los museos? En el Jet Propulsion Laboratory (JPL), un equipo de astrónomos e informáticos acaba de desarrollar, en colaboración con los conservadores del Los Angeles Country Museum of Art, una técnica que permite analizar un negativo radiográfico de una pintura maestra *(Comunicado de prensa del JPL de 10 de mayo de 1982)*. Estos negativos suelen aparecer confusos, ya que resultan de la superposición de varias imágenes: la de la textura del soporte de la pintura (tela, papel, madera), de la obra, de los bocetos o pinturas anteriores y de eventuales retoques o restauraciones. Así, los investigadores del JPL han utilizado unos algoritmos, que en tecnología del espacio, permiten definir los contornos y los elementos constitutivos de una imagen, para transponerlos al análisis de «La Crucifixión», pintura del siglo XVII de un pintor flamenco no identificado. En primer lugar, se fotografían la textura del soporte con máxima aproximación así como la pintura en superficie. Estas dos imágenes son numerizadas y almacenadas en memoria. En segundo lugar se cuantifica el negativo X del cuadro y se sustrae de la masa de datos proporcionados las dos imágenes precalculadas del soporte y de la superficie. La imagen despojada resultante no contiene más que elementos relativos a las capas ocultas, lo que facilita su tratamiento inmediato. Resulta así que «La Crucifixión» fue pintada sobre papel; debajo, sobre la madera, se descubría una escena del siglo XVII, pintada al óleo, representando a un hombre y una mujer sentados a una mesa. Perfeccionado, este método informático podría convertirse en un instrumento precioso para los conservadores y restauradores. (Foto JPL.)



¿Qué es una línea recta para un ordenador?

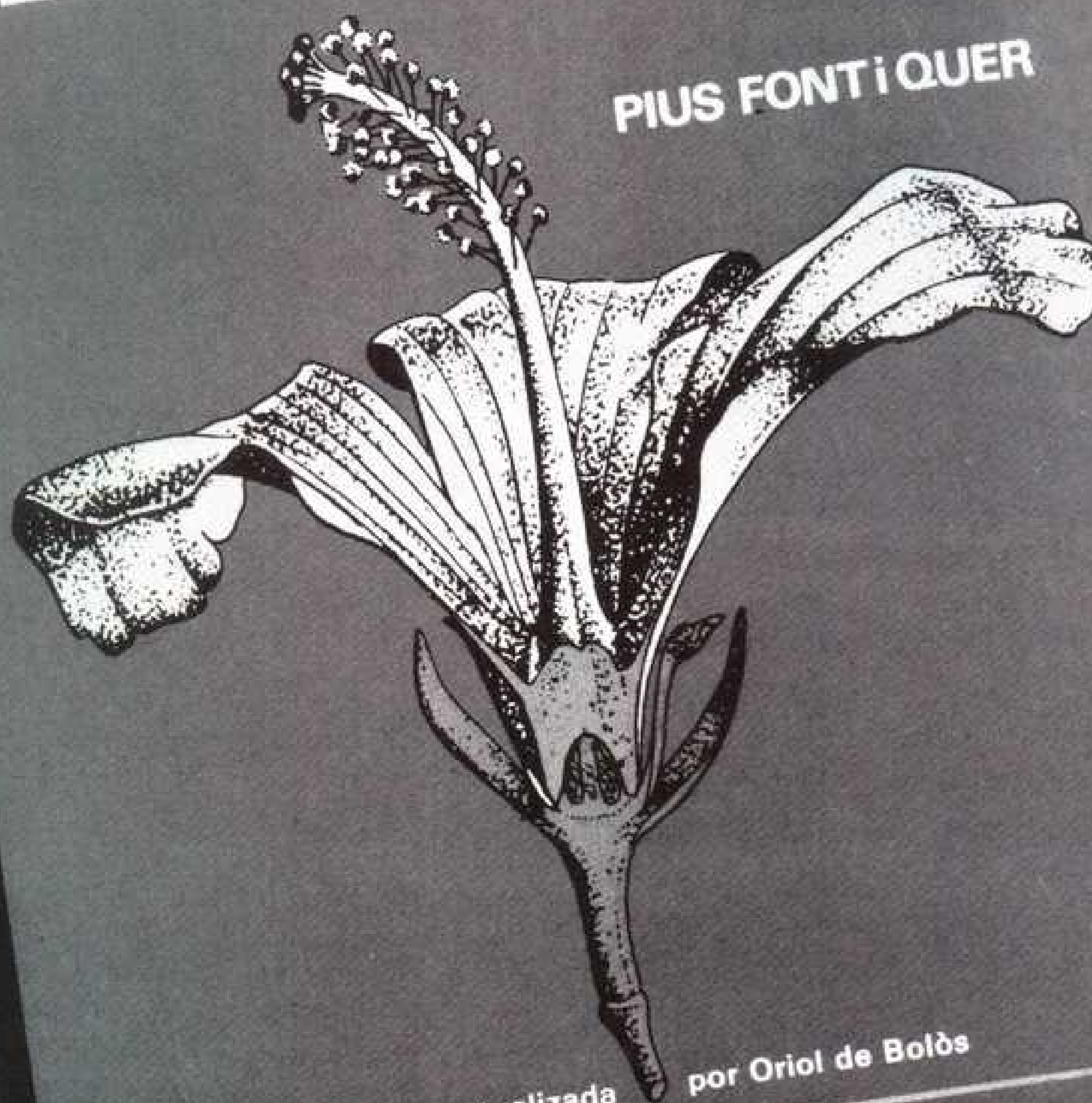
La clasificación de las formas que apar cen sobre una imagen atiende generalmente criterios geométricos. En la foto de una cám ra de burbujas, las partículas se identifica por la geometría de sus trayectorias, que so segmentos de recta o arcos de círculo. Per para un ordenador, el reconocimiento de un forma no siempre es fácil; sólo trata imág nes numéricas, es decir, matrices de punto ¿Cómo saber a partir de ahí a qué forma ge métrica pertenece tal conjunto de puntos pr venientes de la numerización de un segment de línea recta? C.E. Kim, de la Washingto State University, y otros han ofrecido solu ciones a este problema, en apariencia simple en el congreso internacional IEEE «Patter analysis machine intelligence». Los informe pertinentes serán publicados en las actas IE EE, pero entre tanto, acaba de aparecer u artículo de C. Kim y A. Rosenfeld en *The Ame rican mathematical monthly* (*89*, 230, abr 1982), recordando los principios básicos de l numerización. Proponen soluciones al proble ma planteado señalando que no todas son óp timas desde el punto de vista del tiempo d cálculo. El tratamiento numérico de las imá genes y el reconocimiento de las formas so dos disciplinas, estrechamente ligadas, d las que dependen, en gran medida, el de sarrollo de la televisión del futuro, la robótic y todas las tecnologías que operan a partir d las imágenes.

Previsto en 1931, observado hoy: el monopolo magnético

El monopolo magnético, una partícula elemental, que desde hace más de cincuenta años ha escapado a la vigilancia de los físicos, posiblemente acaba de ser aislado en un detector de la universidad de Stanford (California). Los monopolos son unas partículas que llevan una unidad de carga magnética análoga a la carga eléctrica y constituyen entidades con un polo norte o un polo sur exclusivamente. Paul Dirac, uno de los padres de la mecánica cuántica, ya había previsto su existencia en 1931. Hoy, los monopolos magnéticos forman parte de las numerosas partículas cuya existencia es predicada por las teorías de gran unificación de las interacciones fundamentales. Una de estas teorías prevé la existencia de monopolos magnéticos super-masivos (10^{16} veces a la masa del protón) cuyo nacimiento se remontaría a las fracciones de segundo que han seguido a la gran explosión original del Universo o «Big Bang». Algunos de ellos habrían sobrevivido hasta nuestros días y estos monopolos fósiles deberían de poder ser observados en los detectores terrestres. Pero, aunque en este sentido se hayan sucedido desde 1960 numerosos experimentos jamás monopolo alguno había señalado hasta ahora su presencia en un detector. En la naturaleza no se encuentran más que dipolos magnéticos, es decir, objetos que poseen a la vez un polo norte y un polo sur como los solenoides, las barras magnéticas y la misma Tierra.

Blas Cabrera cree haber observado un monopolo el 14 de febrero de 1982 en Stanford, gracias al SQUID, detector ultrasensible de los campos magnéticos (*Mundo Científico*, n.° 16, p. 738). La señal percibida es exactamente la que se esperaba. La carga magnética del candidato-monopolo, la única cantidad realmente medida por el detector, concuerda perfectamente con la carga prevista teóricamente por Dirac.

El acontecimiento es de tal importancia para la cosmología y la física de las partículas, que resulta absolutamente indispensable confirmarlo, eliminando todas las causas de errores. Steven Weinberg, premio Nobel 1979, ha afirmado que la «señal registrada es perfectamente clara» (*New Scientist*, *94*, 336, 1982). No obstante, B. Cabrera se propone verificar su observación con un nuevo dispositivo experimental aun más sensible.



NOVEDAD

Formato: 13,5 × 22 cm.
264 páginas.
Ilustraciones de Eugeni Sierra

P.V.P. 850 PTAS

Con esta edición, ampliada, de la **Iniciación a la Botánica** (Morfología externa) nos proponemos ofrecer al público un libro que proporcione los conocimientos básicos para la comprensión y descripción científica de las formas de las plantas y para el uso correcto de los textos florísticos que permiten la identificación de los vegetales. El libro pretende ofrecer una visión sucinta de los procesos biológicos que en el curso de la evolución de los organismos han conducido a la diferenciación de las plantas actuales; a su vez, reúne datos que facilitan la comprensión del significado ecológico de la configuración de los seres que estudia la Botánica. En primer lugar, es útil para los estudiantes universitarios de Biología y de Farmacia, para las escuelas de Agricultura y todas aquellas personas interesadas en el mundo de las plantas. Su exposición sencilla y clara lo hace apropiado, también, para los estudiantes de bachillerato superior (BUP y COU) que buscan ampliar conocimientos. Huelga decir, en fin, que los profesores de enseñanza media y básica podrán extraer de él numerosas ideas de gran utilidad para trabajos prácticos.

Pídalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a. Valencia, 359 - 6.º 1.ª
Barcelona-9 (España)

El temblor de las ovejas: ¿un virus sin genes?

■ Entre las numerosas enfermedades que afectan al sistema nervioso de los mamíferos, algunas son particularmente angustiosas a causa de su proceso lento e inexorable. La esclerosis en placas, por ejemplo, destruye poco a poco los centros motores de los enfermos que, permaneciendo conscientes, se ven a sí mismos volverse inválidos; el desenlace fatal sólo suele producirse algunas decenas de años después de los primeros signos de la enfermedad.[1] ¿Y qué decir de su periodo de incubación? A pesar de trabajos ingentes, el origen de tal enfermedad sigue siendo misterioso. Se han descrito otras nosologías más raras o más exóticas, pero también lentamente fatales: hace más de veinte años, por ejemplo, que Hadlow demostró que el Kuru, una enfermedad degenerativa del sistema nervioso central extendida en las tribus montañesas de Nueva Guinea y transmitida, al parecer, por la manipulación y el consumo rituales de cerebros humanos y de simios, era afín a una enfermedad más occidental, la enfermedad de Creuztfeld-Jakob.[2] Ambas, tras un periodo de incubación muy largo, que puede llegar a los treinta años, van acompañadas de temblores incoercibles y demencia progresiva, para terminar en un coma mortal. Otras especies animales se ven afectadas por enfermedades parecidas. Así, estas dos últimas enfermedades humanas guardan estrecha relación con una enfermedad de las ovejas y de las cabras, la llamada enfermedad del temblor.

Lo que plantea un problema al investigador no es tanto la evolución de estas enfermedades como su origen. Ciertamente, hay ataques lentos sobre el sistema nervioso causados por agentes patógenos bien identificados: virus de la rabia, bacilo tetánico, virus del sarampión, etc. Por analogía, se han buscado activamente agentes patógenos específicos de la enfermedad de Creuztfeld-Jakob, del Kuru y del temblor. Rápidamente se vio claro que estas enfermedades eran provocadas por un agente patógeno infectivo (descubrimiento que le valió el premio Nobel a D. Gajdusek en 1976). Pero, en general, la identificación precisa de estos agentes no ha sido nunca concluyente: hasta ahora se han revelado imposibles de aislar; no provocan respuesta inmunitaria del huésped. Estos agentes infecciosos pertenecen claramente a una clase nueva de seres biológicos, ni verdaderos virus ni pequeñas bacterias, prudentemente denominados «agentes patógenos no convencionales», en espera de más amplias precisiones. Desde hace varios años, se ha sospechado incluso que estos organismos podrían no contener ácidos nucleicos, los soportes universales de la herencia, aunque afirmación tan herética no haya sido formulada aún claramente. Stanley B. Prusiner, de San Francisco, acaba de tener esta audacia en una reciente revisión publicada en *Science*.[3] Los agentes causales del temblor de las ovejas serían unas partículas proteicas, bautizadas con el nombre de «priones» por una razón que veremos algo más adelante.

(1) B.H. Waksman, *Immunology Today, 87,* mayo 1981.
(2) W.J. Hadlow, *Lancet, II,* 289, 1959.
(3) S.B. Prusiner, *Science, 216,* 136, 182.
(4) R.F. Marsh, R.H. Kimberlin, *Journ. of infectious diseases, 131,* 104, 1975.

El temblor de las ovejas como modelo experimental

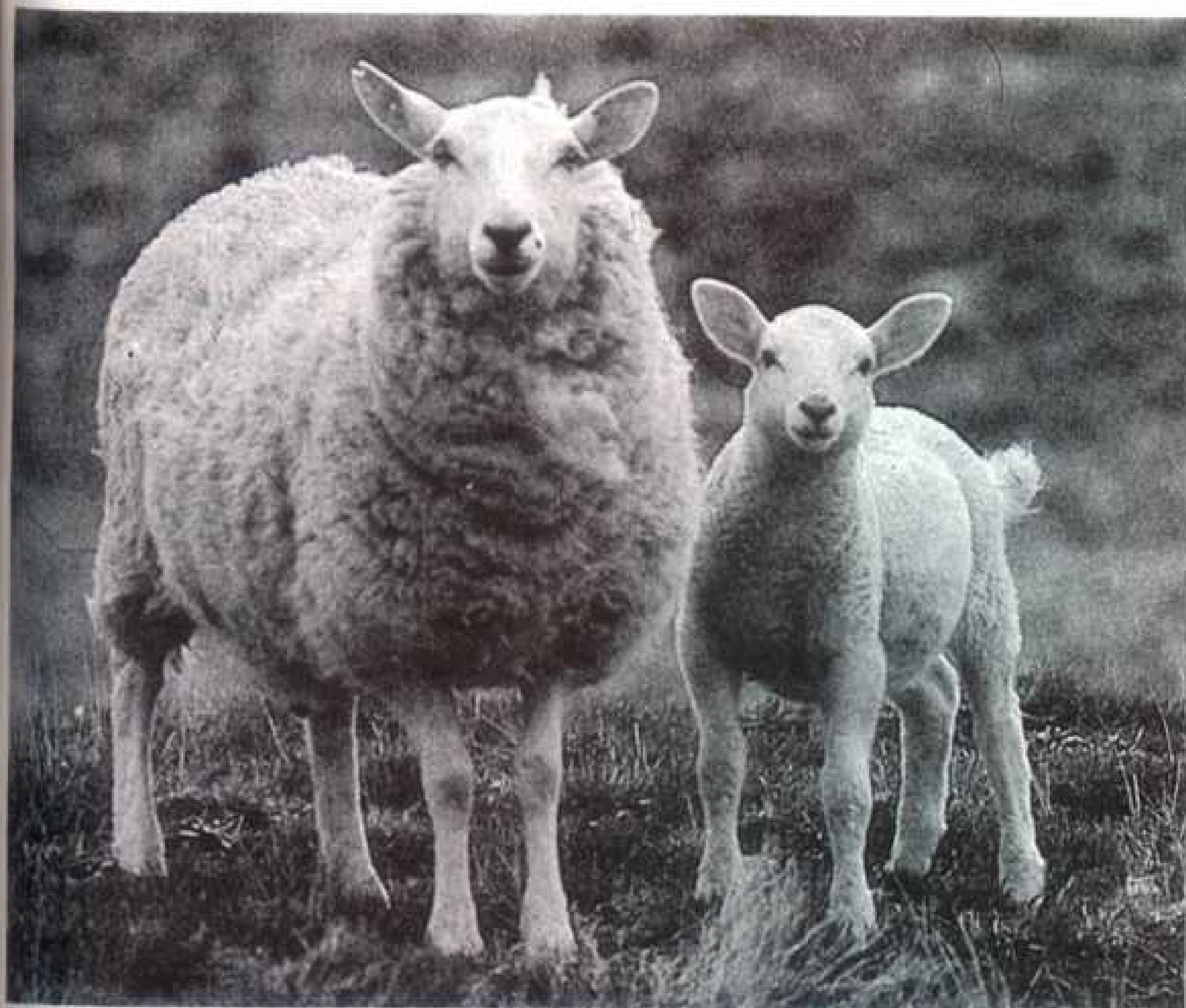
Es prácticamente imposible estudiar una enfermedad como el Kuru en el laboratorio. Por otra parte, ¡es difícilmente concebible fomentar la antropofagia con fines científicos! Además, el Kuru posee periodos de incubación muy largos (veinte o treinta años) y la transmisión de la enfermedad a primates no humanos se ha revelado difícil. El temblor de las ovejas apareció pues muy pronto como modelo experimental más cómodo para comprender estas extrañas enfermedades, tanto más cuanto que el periodo de incubación se reduce a dos-cinco años y que la enfermedad puede transmitirse por vía oral. Además, unos resultados muy recientes de Prusiner y Hadlow, en San Francisco, muestran que unas cabras infectadas por tejido cerebral de pacientes muertos de la enfermedad de Creuztfeld-Jakob, morían pocos años más tarde de una enfermedad que no se distinguía del temblor de las ovejas. Es posible, pues, pasar del hombre al ovino y que todas estas enfermedades guarden gran afinidad, sin embargo, unos experimentos a lo largo de cinco años duran demasiado para ser fructíferos. Había que encontrar un sistema experimental más rápido, que no sólo revele la evolución de la enfermedad, sino también sus diferentes modos de transmisión, en particular por vía oral.

Este modelo experimental fue elaborado a partir de 1975 por R. Kimberlin, en Edimburgo.[4] El temblor de las ovejas puede transmitirse al hámster, en e que la enfermedad se desarrolla en se senta a setenta días tras la inyección e el cerebro de una preparación que co tiene el agente infeccioso, evolució que, por consiguiente, puede conside rarse rápida. Además, el canibalism frecuente de estos animales ha permit do demostrar muy pronto que el temblo podía transmitirse por vía oral, aunqu con una eficacia mucho más débil. S habían reunido, pues, las condicione experimentales para intentar la purifica ción del agente infeccioso y estudia sus propiedades.

El agente del temblor de las ovejas «se pega» a las proteínas del huésped

Lo que refiere S. Prusiner es que h llegado a ser posible purificar parcia mente el agente patógeno con método a la postre bastante simples. Para ell naturalmente, conviene dosificar e agente, lo cual procede por inyecció de cantidades conocidas de extracto en el cerebro de hámsters. De sesenta setenta días más tarde se determina e número de animales enfermos, así co mo la extensión de las lesiones cerebra les manifiestas. Para purificar el agent del temblor de las ovejas, S. Prusiner sus colaboradores parten de extracto de cerebros de animales y los frac cionan por medio de técnicas bioquími cas clásicas (centrifugaciones diferen ciales, precipitaciones fraccionadas cromatografía, etc.). Cada fracción e seguidamente inyectada en el cerebro de los hámsters. En las fracciones más activas, el ciclo del agente patógen tiene dos fases: primero, la infectividad del agente encontrado en el cerebro in yectado disminuye en un factor 10 00 durante las primeras veinticuatro horas Después, el título aumenta regularmen te y cincuenta días más tarde pasa aproximadamente en 100 veces la dosis inyectada, momento en que los signos degenerativos se manifiestan claramen te a nivel del comportamiento (temblo res y ataxia) y a nivel anatómico (las cé lulas nerviosas degeneradas contienen grandes vacuolas). El agente se ha mul tiplicado (el balance final es de 100 ve ces aproximadamente) en el cerebro Posee, por tanto, esta propiedad esen cial de los seres vivos de multiplicarse sea cual fuere, por otra parte, el meca nismo de la multiplicación.

¿A qué se parece el agente del temblor de las ovejas? Aunque se hayan obtenido fracciones bastante purifica das, no se parecen a «nada», vistas al microscopio electrónico. Por contra, las condiciones en las cuales se obtiene el agente patógeno suministran indica ciones preciosas sobre su estructura.



En 1944, algunos millares de ovejas fueron vacunadas en Escocia contra el virus responsable de una enfermedad del sistema nervioso central. Dos años más tarde, la mayoría de los animales morían de temblor, cuyo agente infeccioso contaminaba la preparación inyectada. Los progresos realizados en el conocimiento del temblor de las ovejas habrían de permitir comprender ciertas enfermedades humanas y tal vez definir una nueva clase de seres vivientes. (Foto Jacana).

Ante todo, se ha encontrado un poco en cualquier lugar de la célula, aunque en particular adherido a las membranas. En realidad, «se pega» muy bien a las membranas y a las proteínas hidrófobas del huésped. Esto explica por qué la purificación sólo ha realizado progresos significativos con el empleo de la cromatografía en medio hidrófobo. El agente del temblor de las ovejas es muy pequeño, pero tiene tendencia a agregarse, lo cual le hace aparecer como un continuo de estructuras moleculares. Esta propiedad sigue siendo cierta incluso en las preparaciones más purificadas. Luego fue relativamente fácil demostrar que contenía proteínas y que éstas eran esenciales para la actividad infecciosa, ya que ésta era abolida por incubación con enzimas proteolíticas. Estas mismas proteínas presentan gran afinidad por las membranas celulares. Hasta ahí, nada muy original, ya que casi todos los virus animales están constituidos por una cáscara de proteínas y de lípidos frecuentemente tomados de la célula huésped.

¿Contiene el agente del temblor de las ovejas ácidos nucleicos?

Todo virus «normal» contiene un ácido nucleico, ARN o ADN, que constituye su patrimonio genético y especifica las reglas de su multiplicación. ¿Ocurre así con el agente del temblor de las ovejas? S. Prusiner y sus colegas se esforzaron por poner de manifiesto la existencia de un ácido nucleico en las mejores preparaciones de que disponían. Las enzimas que degradan los ácidos nucleicos se han revelado ineficaces para inactivar las partículas infectivas. Pero esto podía simplemente indicar que la cáscara de proteínas no permitía el acceso de las enzimas al ADN o al ARN. A continuación probaron un método físico: la irradiación por rayos ultravioleta (a 254 nm), que destruye normalmente todo ácido nucleico. Tampoco se observó ninguna inactivación de las propiedades infectivas. Seguidamente probaron de amplificar la acción de los ultravioleta con la ayuda de reactivos fotosensibles como los psoralenos (*La Recherche*, n.º 135, p. 920, julio-agosto 1982), capaces de atravesar una envoltura proteica hidrófoba. También fue negativo el resultado. Entraron en juego otros métodos químicos, que inactivan a los ácidos nucleicos pero no a las proteínas; todas estas tentativas se revelaron vanas, y S. Prusiner llegó a la conclusión de que el agente del temblor de las ovejas no contiene sin duda ácido nucleico. Se trataría, pues, de una partícula infecciosa sin patrimonio genético en el sentido clásico. De ahí, que S. Prusiner la llame «prion», por «proteinaceous infectious particle». Esta conclusión es claramente herética.

¿Hace falta ir tan lejos? Está completamente claro que el agente del temblor de las ovejas pertenece a una nueva categoría de agentes patógenos. ¿Pero es por ello necesario proponer una transgresión tan grave de las reglas hasta ahora bastante firmes de la biología? R. Kimberlin, otro especialista indiscutido de las enfermedades degenerativas del sistema nervioso central, responde en un tono un poco reticente a S. Prusiner, en un editorial de la revista *Nature*, diciendo que, en efecto, no es necesario.[5] En su opinión, este agente sería a los virus lo que los neutrinos a los neutrones: serían virinos, término ya propuesto hacia 1979 para designar organismos intermedios entre los virus, que contienen la información genética necesaria para la síntesis de algunas de sus proteínas, y los viroides, que no tienen necesidad de proteínas en absoluto (*La Recherche*, n.º 119, p. 174, febrero 1981). R. Kimberlin estima que los datos de S. Prusiner podrían interpretarse en un sentido bastante clásico. El agente del temblor de las ovejas podría ser un ácido nucleico muy pequeño, como en el caso de los viroides, al que únicamente se le pide que se multiplique, y que tendría una fuerte afinidad para una proteína esencial del sistema nervioso. Esta última propiedad explicaría por qué el agente infeccioso no es reconocido por el sistema inmunitario del huésped. El fracaso en la identificación de un ácido nucleico provendría del poder de agregación de esta proteína, que lo protegería completamente de los ataques del medio exterior. ¿Acaso no se creyó hasta 1940 que el virus del mosaico del tabaco era una proteína, en razón de experimentos análogos a los de S. Prusiner? Evidentemente habrá que trabajar mucho todavía para que la controversia se resuelva.

¿Cómo puede multiplicarse una proteína?

No obstante, si se ha demostrado efectivamente que el agente del temblor de las ovejas es un prion y no un virino y, por consiguiente, que se trata de un organismo que se multiplica sin contener ácido nucleico, se trataría de un descubrimiento de primera importancia que pondría de manifiesto un nuevo tipo de multiplicación de un material biológico. Nunca ha referido nadie la existencia en una célula cualquiera de un sistema enzimático capaz de copiar en una proteína otra proteína (¡aunque, después de todo, no es seguro que se haya buscado bien!). En el estado actual de nuestros conocimientos, toda multiplicación de una proteína pasa por la intervención de ácidos nucleicos. Sin embargo, es posible explicar la multiplicación de una proteína sola e infecciosa sin que la partícula infecciosa contenga ácido nucleico. Si las proteínas del agente del temblor de las ovejas son en realidad proteínas reguladoras, que controlan el nivel de expresión de algunos genes (o grupos de genes), y en particular la expresión de un gen celular que codifica para la proteína misma del prion, entonces, la penetración de esta proteína en la célula nerviosa, seguida de su fijación en sectores bien precisos del ADN celular, podría manifestarse por una expresión acrecentada de estos genes y, por consiguiente, por la multiplicación de la proteína «infecciosa».

La estimulación de otros genes que obedecieran al mismo control podría igualmente explicar el origen de la enfermedad degenerativa del sistema nervioso. Después de todo, tal hipótesis sólo sería una variante a nivel proteico de lo que parece suceder, a nivel de los ácidos nucleicos, en el momento de la transformación de una célula normal en célula cancerosa.

En todo caso, sólo la purificación total del agente del temblor de las ovejas permitirá saber qué sucede en realidad. No obstante, los métodos de purificación descritos por S. Prusiner abren el camino a investigaciones mucho más precisas sobre los agentes causales de numerosas enfermedades del sistema nervioso central y tal vez a su tratamiento.

Antoine-Louis Lecocq.

(5) R.H. Kimberlin, *Nature*, 297, 99, 1982.

Calentarse en invierno utilizando las calorías solares captadas en verano. Una idea hoy más próxima de la realidad que del sueño.

Los mantos subterráneos: ahorro de energía en perspectiva

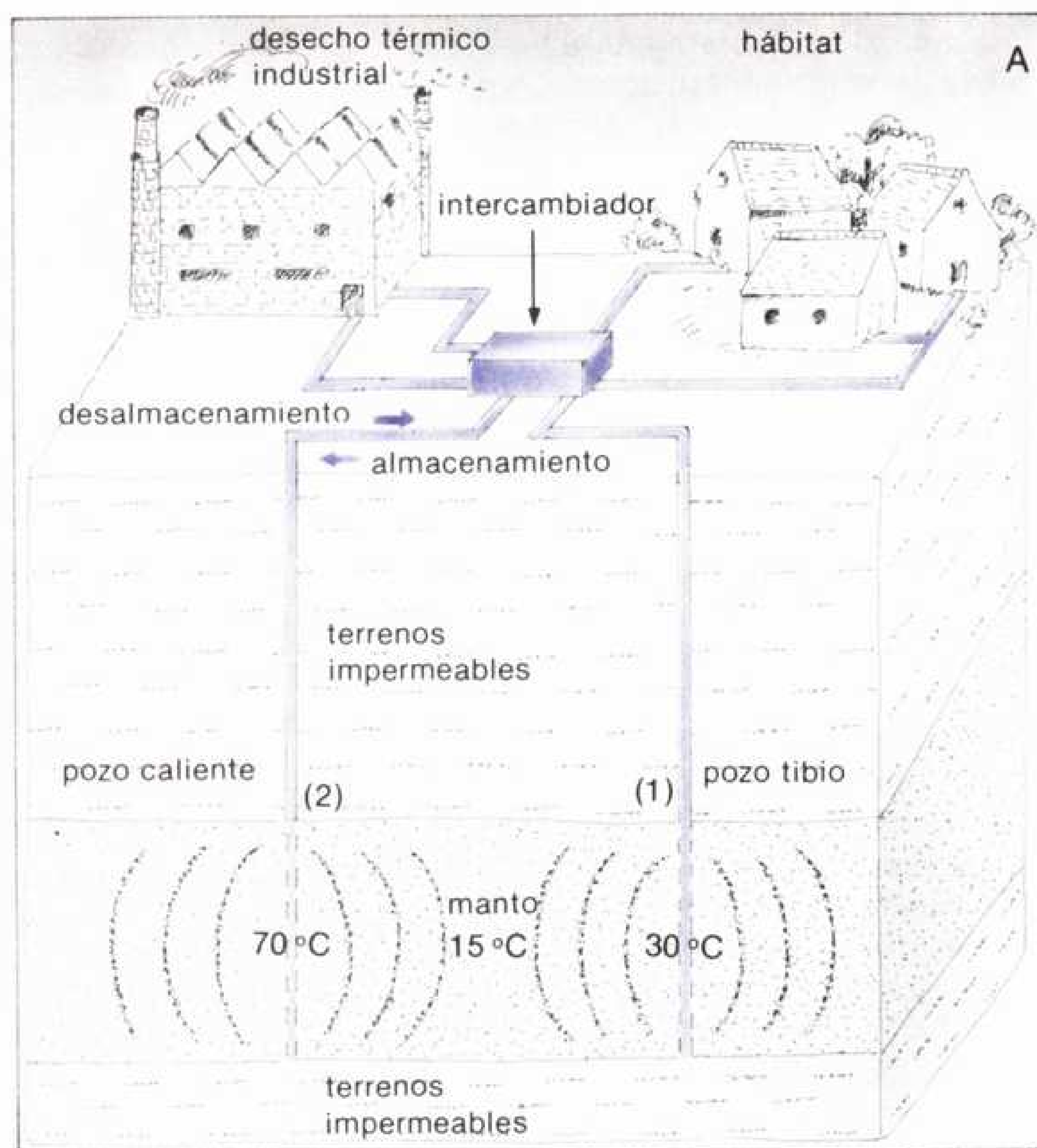
■ Hasta ahora, los mantos subterráneos de poca y mediana profundidad (hasta unos 500 m) se consideraban exclusivamente como emplazamientos de los recursos de agua destinados fundamentalmente a la alimentación doméstica y al riego. Sin embargo, desde la «crisis de la energía» no es poco el interés concitado en torno a las posibilidades de explotación térmica de estos medios porosos subterráneos y, especialmente, por lo que hace al almacenamiento del calor, problema todavía mal resuelto en el momento actual. Al mismo tiempo, también cabe considerar la explotación directa de las calorías naturales de las aguas subterráneas mediante bomba de calor. ¿Cómo explotar y administrar térmicamente estos recursos? ¿Con qué resultados?

Estas cuestiones, estudiadas desde hace algunos años, han dado lugar a diversos proyectos de realización. En Francia, por ejemplo, se está poniendo en práctica un proyecto piloto de almacenamiento de agua caliente procedente de una planta de incineración de basuras domésticas en la región parisiense. Por otra parte, en Aulnay-sous-Bois y desde el mes de octubre, doscientas veinte nuevas viviendas colectivas se calentarán gracias a los mantos subterráneos.

Almacenar calor durante largos periodos

¡Calentarse en invierno mediante calorías solares recogidas en verano! He ahí un concepto sencillo y satisfactorio que, desgraciadamente, tropieza con una difícil realidad: el almacenamiento del calor. Almacenar calor, a igual que, en general, energía, es uno de los problemas mal resueltos hasta el presente, en especial si se trata de un almacenamiento de larga duración. A punto surgen los inconvenientes de coste y de volumen.[1] Para fijar las ideas en este terreno, piénsese que la cobertura de las necesidades de calefacción doméstica por medio de un almacenamiento temporal que utilizara el calor sensible del agua alcanzaría, en nuestros climas, un volumen cuya magnitud sería comparable al propio volumen del hábitat. Las soluciones de tipo artificial, como los depósitos enterrados, exigen, por tanto, importantes obras de ingeniería con costes generalmente prohibitivos.

De ahí la idea de recurrir a medios naturales: los mantos subterráneos están constituidos por una matriz porosa (arena, caliza o creta alterada) cuya estructura es tal que permite la circulación de agua y su captación por perforación.[2] El agua calentada, portadora de las calorías puede inyectarse y luego rebombearse por perforación; la matriz porosa hace de acumulador térmico tanto más fácilmente cuanto que e



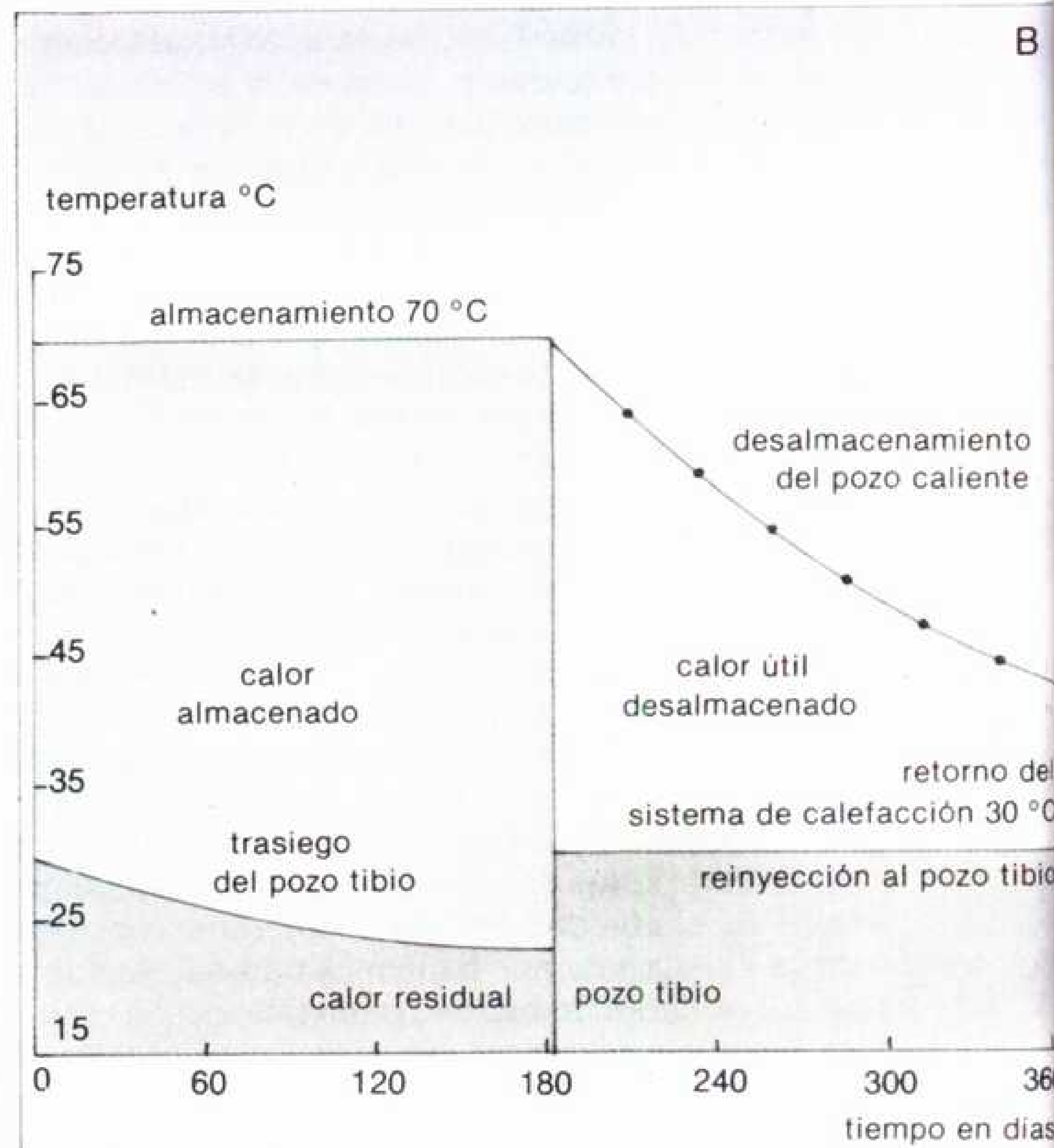


Figura 1. **Para almacenar agua caliente en un manto subterráneo por el método del doblete (A) el agua se bombea del pozo de extracción (1); se re calienta en el intercambiador y luego se almacena en el pozo de almacenamiento (2). En el periodo de utilización, el régimen hidráulico queda in vertido: el agua se extrae del pozo (2), se emplea en la red de calefacción y se reinyecta a la temperatura de devolución de dicha red en el pozo de descarga (1).**
En (B) se representa la evolución de la temperatura de extracción calculada por un modelo numérico de simulación en el caso de un manto de 25 m de grosor, a 30 m de profundidad y a una temperatura de 15 °C. En el caso teórico que se considera, cada año se efectúan sendos ciclos de almacenamiento a 70 °C y de desalmacenamiento de seis meses cada uno, con un volumen de 200 000 m³ de agua. En el quinto ciclo anual, cuando el régimen térmico se ha estabilizado para 10 000 MWh almacenados en estas condiciones, pueden explotarse en invierno unos 4 500 MWh. Se supone que el calor se distribuye en las viviendas por suelos caloríferos a baja temperatura, siendo la temperatura media de retorno de los elementos de calefacción de 30 °C.

(1) G. Beghi (ed.), *Energy storage and transportation. Proceedings of an Ispra course.* Reidel Pub. Co., 1981.
(2) G. de Marsily, *Hydrogéologie quantitative,* Masson, 1981.

equilibrio térmico entre la fase fluida y la fase sólida se suele alcanzar casi instantáneamente, habida cuenta del tamaño de los granos y las características térmicas de la roca. Por consiguiente, se trata de intercambiadores acumuladores naturales, accesibles a bajo coste, sin grandes incidencias ambientales, que además presentan el interés de estar por lo común ampliamente repartidos por todo el territorio.

En este terreno, las actividades de investigación se iniciaron mundialmente a principios de los años setenta con un plan teórico para el desarrollo de modelos numéricos de simulación de las transferencias térmicas en el manto. Se trataba de precisar los resultados que podían esperarse de almacenamientos térmicos de esta naturaleza y las condiciones hidrogeológicas que aconsejaron su implantación. Estos modelos son instrumentos bastante complejos que permiten apreciar los mecanismos físicos dominantes, es decir, los fenómenos de difusión térmica por conducción en el manto y en los terrenos impermeables situados a nivel superior e inferior, los fenómenos de convección en el propio manto por efecto del bombeo, de la inyección y de la velocidad local de flujo, y finalmente, los efectos de estratificación térmica vinculados a la variación de densidad y de viscosidad del agua según la temperatura. Estos fenómenos se formalizan matemáticamente en forma de ecuaciones con derivadas parciales integradas por vía numérica. Introduciendo en los modelos de simulación los parámetros hidrogeológicos y térmicos del medio subterráneo y las condiciones límite de una operación de almacenamiento, se estará en condiciones de hacer una estimación teórica de los resultados.(3)

En el plano práctico, una experiencia realizada en Francia, en el departamento del Gard cerca de Nîmes, en el transcurso de la cual se almacenaron 20 000 m³ a 35 °C en un manto muy superficial (15 °C) en verano de 1977 y parcialmente recuperados durante el invierno siguiente, ha permitido confirmar con un caso real la idoneidad de estos instrumentos de simulación. En 1978, un experimento de la misma naturaleza fue realizado en Estados Unidos por la universidad de Auburn en Alabama: durante 80 días se inyectaron 55 000 m³ de agua a 55 °C en un manto a 20 °C situado entre 40 y 60 m de profundidad. Después de cincuenta días, se rebombeó el mismo volumen; el manto restituyó el 65 % del calor que se le había inyectado, con una temperatura del agua, después de rebombeo, de 33 °C.

Proyectos piloto en el mundo

A la luz de los resultados actuales, se pone de manifiesto que el almacenamiento térmico de larga duración es posible siempre que concurran ciertas condiciones: en el plano hidrogeológico, el manto debe ser suficientemente profundo (más de 30 m) para evitar las pérdidas térmicas hacia la atmósfera, suficientemente grueso (más de 10 m) para limitar los intercambios con los terrenos situados a nivel superior e inferior y, en fin, ser emplazamiento de un flujo local lento, como es el caso, en general, con los mantos profundos. Además, para disminuir la influencia relativa de los distintos mecanismos de degradación térmica, el volumen almacenado debe ser suficientemente importante, como mínimo de algunas decenas de millares de metros cúbicos de agua. Por último, debe haber compatibilidad entre la temperatura de almacenamiento y la de utilización, debiendo ser esta última netamente inferior a la primera, de manera que en el momento de la explotación del almacenamiento quepa beneficiarse de un potencial térmico importante. Así, no cabe almacenar en el manto a 70 °C y explotar el almacenado en radiadores que funcionen a esta misma temperatura. En cambio,

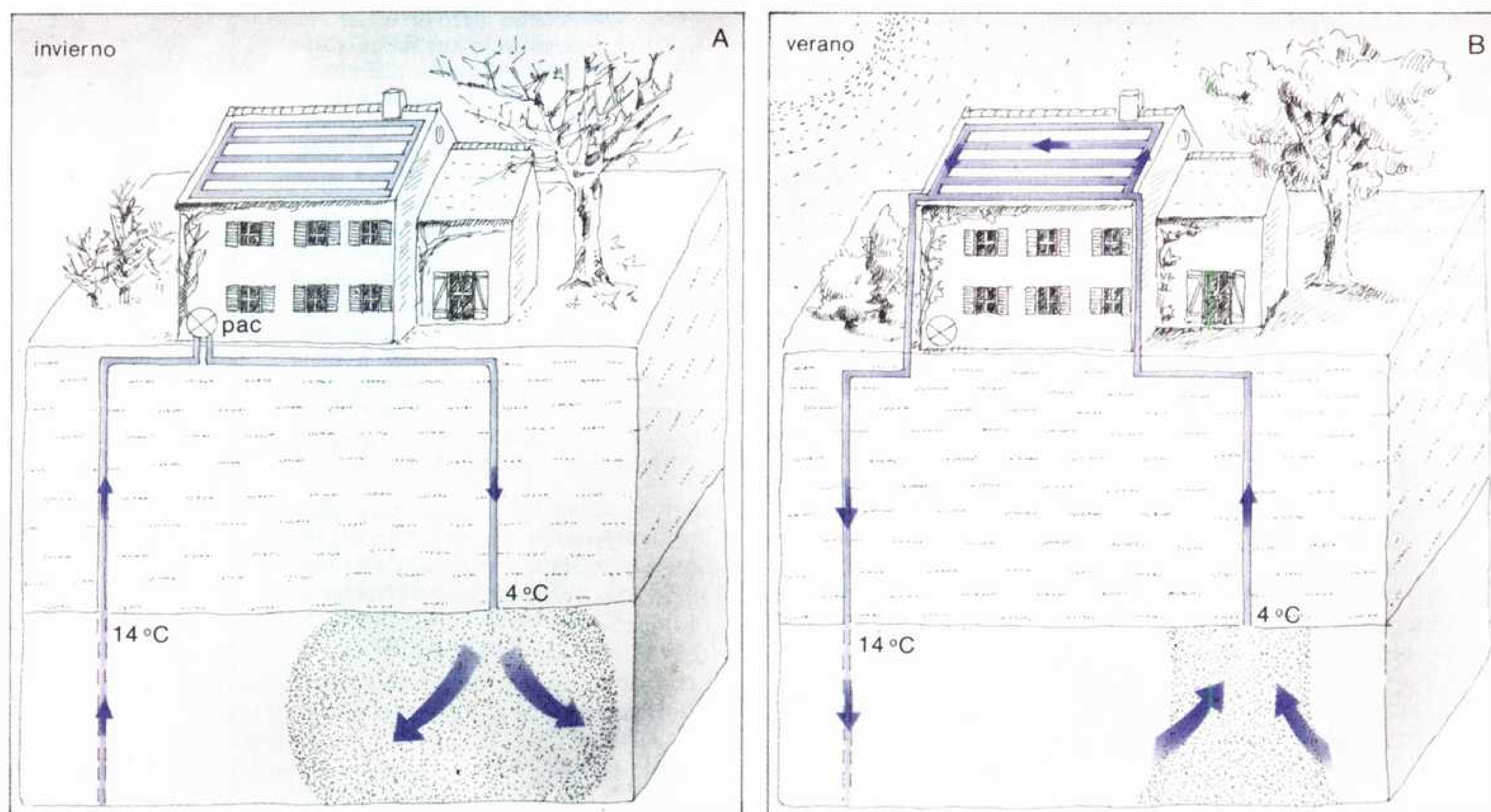


Figura 2. **Si se desea explotar intensivamente un manto subterráneo por bomba de calor puede recurrirse estacionalmente a la energía solar por el método del doblete heliogeotérmico: en invierno (A), el agua se bombea y se reinyecta (a 4 °C) después de una extracción térmica para el caldeamiento de locales por una bomba de calor. En verano (B), el agua fría se rebombea y se vuelve a su temperatura natural por medio de intercambiadores aerosolares estáticos que captan la radiación solar y las calorías del ambiente por convección natural. Este procedimiento permite evitar el retorno de las aguas frías al pozo de producción y la creación de un frente frío en el manto, susceptible de perjudicar a los usuarios potenciales de los alrededores. Un dispositivo de este tipo se pondrá en servicio el mes próximo en Aulnay-sous-Bois; las bombas de calor cubrirán el 98 % de las necesidades de 220 nuevas viviendas colectivas el sobrecoste de inversión de esta primera operación deberá amortizarse en diez años, mientras que en fase de desarrollo este periodo podría ser de cinco a siete años.**

(3) J.P. Sauty, *Du comportement thermique des réservoirs aquifères exploités pour le stockage thermique ou la géothermie basse enthalpie*. Tesis doctoral universidad científica y médica e I.N.P., Grenoble, 1981.

¡Cómo el agua fría a 15 °C puede convertirse en una interesante fuente de calor!

si el sistema de emisión de calor en las viviendas funciona a baja temperatura, por ejemplo a 30 °C, y si se dan las anteriores condiciones, los modelos de simulación demuestran que es posible explotar en invierno del 45 % al 50 % del calor almacenado en verano. E inversamente, la utilización de radiadores precisaría temperaturas de almacenamiento mucho más elevadas.

En realidad, se ha llegado a considerar dos campos de aplicación: el almacenamiento a «alta temperatura» (150 °C a 180 °C), que puede aplicarse directamente en el marco de instalaciones clásicas existentes (radiadores o de redes de calor (80, 100 °C), pero que precisa de capas bastante profundas a fin de que la presión mantenga el agua en fase líquida, y el almacenamiento a «temperatura media» (50 a 80 °C), de realización más fácil, pero que debe integrarse necesariamente en instalaciones de baja temperatura (30 a 40 °C) cuyo desarrollo es todavía limitado (suelos calefactores de baja temperatura, aire impulsado) (fig. 1). A estas restricciones hidrogeológicas y térmicas conviene añadir, en fin, la tecnológica: efectivamente, si las modalidades de acceso al almacén subterráneo mediante inyección y bombeo del agua por perforación son simples en su principio, su puesta en práctica puede plantear problemas. Especialmente, las transformaciones fisicoquímicas del agua y del terreno con la temperatura pueden originar riesgos de obstrucción de la obra de inyección: las precipitaciones de carbonatos o de silicio, la liberación de gases disueltos y la inyección de mezcla difásica son otros tantos fenómenos obturadores que hay que estudiar cuidadosamente y que pueden precisar de tratamientos apropiados.

En tales condiciones ¿cómo puede contemplarse, desde el punto de vista práctico, el futuro de este procedimiento? En el plano hidrogeológico ya hemos visto que no todos los mantos son apropiados y que los horizontes más favorables hay que buscarlos en las grandes cuencas sedimentarias caracterizadas por la presencia de mantos locales semiprofundos. En la cuenca parisiense, pueden citarse a título de ejemplo el manto del eoceno inferior situado al norte de la cuenca a algunas decenas de metros de profundidad, o el del Albien a algunos centenares de metros. Por otra parte, el efecto de escala requerido y la necesidad de un seguimiento técnico obligan a operaciones muy centralizadas. Así, el empleo conjunto de redes de calor y de efluentes térmicos industriales a escala de colectividades locales se muestra como el campo de aplicación más idóneo a plazo medio. A plazo más largo cuenta, sin duda,

De la investigación de base a la aplicación en hábitat climático

■ La investigación en materia de hábitat suele considerarse con carácter de aplicación cuya acusada naturaleza técnica y tecnológica queda al margen de experimentos directos de investigación fundamental. Es indudable que en los últimos decenios la producción de hábitat ha estado marcada por el aumento de la productividad y la mejora de la calidad técnica. En realidad, estas preocupaciones no incitaban mucho a la investigación de base en este sector, aunque por otro lado engendraron un gran movimiento de innovación para la utilización de materiales y componentes obtenidos por la propia industria, movimiento al que se adhirieron las empresas de construcción para participar más tarde en él. A este nivel, el Centro Científico y Técnico de la Construcción, los Centros técnicos de las profesiones de la construcción y los Centros técnicos de las industrias de producción de materiales y de construcción de materiales se encargaron de establecer las normas de realización y de los procesos de control necesarios.

Sin embargo, a partir de 1968, además de la necesidad de mantener un sostenido esfuerzo en el terreno de la innovación, se pusieron de manifiesto preocupaciones más cualitativas, especialmente en materia de arquitectura y de concepción global del hábitat. De esta manera se abrió un vasto campo de investigaciones pluridisciplinarias cuyo acicate fue el Plan-construcción.(1) Un estudio global de este tipo conducía de modo muy específico a la reconsideración de las condiciones ambientales del hábitat... Y en este contexto sobrevino la crisis de la energía. Desde entonces, lo que más convenía era considerar la influencia compleja de los numerosos parámetros que condicionan el comportamiento térmico del hábitat. En este plano, la investigación de base se hizo indispensable. A este respecto, la utilización de la energía solar en el hábitat es ilustrativa. Un primer campo es el que se refiere al empleo «pasivo» de las aportaciones solares, a través de invernaderos, aberturas, muros Trombe... y otros elementos de la arquitectura de las construcciones. El segundo campo de investigación es el de la utilización «activa» de las aportaciones solares por medio de bucles térmicos de captación-almacenamiento-restitución de las calorías.

El almacenamiento es el elemento central de estos sistemas. Almacenamiento de corta duración para la obtención de una buena regulación del suministro, y, sobre todo, interestacional, para la valorización de estos recursos estratégicos que son la energía solar de verano y los excedentes estacionales de los efluentes térmicos industriales. Este artículo sobre el almacenamiento térmico interestacional en manto ilustra perfectamente el arraigo en el plan fundamental de los trabajos de investigación sobre el hábitat. Podemos citar, no obstante un conjunto de temas de investigación sobre el hábitat climático que precisan de la colaboración de competencias fundamentales; por ejemplo, el estudio del confort en situación real, la modelización del clima, el estudio del control térmico, el estudio de la convección natural... En este terreno, el aumento de los conocimientos implica, en efecto, que deben ser consideradas y estudiadas las interacciones complejas de múltiples parámetros. Y así surgen las dificultades teóricas (modelización de los fenómenos convectivos, optimización del control térmico automático...), dificultades metodológicas de observación (estudios sobre el confort en condiciones reales, comportamiento térmico de un hábitat real...) y dificultades metodológicas para las simplificaciones admisibles (producción de instrumentos de simulación simplificada en ordenador para las oficinas de estudios técnicos y de arquitectura).

Por último, debo subrayar la dificultad de implicar tales competencias fundamentales a largo plazo en un terreno que, con gran estrechez de miras, suele considerarse de aplicación cuando no de tradición. Hacer del hábitat y de su entorno objeto de investigación científica fundamental es, sin duda, un propósito de gran envergadura, pese a la fecundidad de semejante estudio.

Será preciso ensanchar progresivamente y con un sostenido esfuerzo los sucesivos círculos del acuerdo científico en este terreno. Y, asimismo, será preciso que los mejores y más motivados jóvenes investigadores puedan hallar estructuras receptivas más favorables a la apertura de nuevos horizontes de investigación en los que desarrollar una apasionante carrera.

Jean-Pierre Marie
Ingeniero y arquitecto, encargado de los programas Ambiente y Energía en el hábitat en el Secretariado permanente del Plan-construcción.

(1) El Plan-construcción es un programa interministerial de estimulo a la investigación sobre el hábitat. Su administración está reservada al Ministerio de Urbanismo y de la Vivienda. Se beneficia de una dotación presupuestaria de dicho Ministerio y del Fondo para la investigación (Ministerio de Investigación y Tecnología y COMES). El Plan-construcción junto con el CNRS-PIRDES (actualmente CNSR-PIRSEM) ha desempeñado un paple piloto en las aplicaciones de la energía solar del hábitat.

la utilización estacional de la energía solar dentro del cuadro de operaciones a gran escala (varios centenares de viviendas); en este caso, la distribución del calor en los locales se efectuaría a muy baja temperatura habida cuenta de que en la zona climática continental y por razones económicas es muy difícil pensar en la captación de la energía solar a temperatura elevada, incluso en verano. De igual modo puede preverse el almacenamiento en forma térmica con la ayuda de bombas de calor, de la electricidad de verano, previsiblemente superabundante dentro de algunos años y, por tanto, barata. La utilización de las reservas almacenadas podría efectuarse en los periodos punta de invierno, lo que evitaría tener que recurrir a la red eléctrica durante las horas críticas.

En el momento actual, el principal proyecto industrial se centra en el almacenamiento a 180 °C de agua presurizada procedente de una planta de incineración de basuras domésticas en un acuífero situado a una profundidad de 500 m en Thiverval-Grignon, al oeste de París. Se trata de un proyecto piloto realizado conjuntamente por la CEA y la sociedad francesa Elf-Aquitaine. El almacenamiento sería, en caso de un resultado favorable, directamente utilizable entre 150 °C y 80 °C para contribuir a la calefacción de 4 000 viviendas. Se ha efectuado un primer sondeo de reconocimiento, así como estudios sobre el previsible comportamiento térmico y físicoquímico del manto.[4] En otros países, principalmente en Estados Unidos, se están estudiando proyectos análogos. Por ejemplo, se prevé integrar una reserva de esta naturaleza en el sistema de calefacción de la universidad de Minneapolis (Minnesota). Los resultados obtenidos al final de estas operaciones piloto serán, sin duda, determinantes para el futuro de esta técnica.

(4) J. Despois y F. Nougarede, *Faisabilité du stockages souterrain de chaleur*. Informe CEA-SNEA-DGRST, mayo 1979.

Un yacimiento de calor a muy baja temperatura

Pero, ante todo, los mantos son una reserva de agua fría a unos 12 °C y, paradójicamente, esto los convierte en una fuente de calor muy interesante. A corto plazo, la térmica de los mantos es, en efecto, la explotación por bomba de calor de las calorías «frías» que contienen naturalmente.

Los mantos subterráneos se caracterizan asimismo por su temperatura, en general constante, resultado de un almacenamiento natural de calor por efecto de las acciones conjuntas de la radiación solar, de la infiltración de las precipitaciones y del gradiente geotérmico. Por debajo de algunos metros de profundidad, la temperatura del subsuelo es casi constante, a excepción de



Figura 3. **El principio del doblete heliogeotérmico explicado en la figura 2 será experimentado en breve en Aulnay-sous-Bois en 220 viviendas colectivas nuevas. Esta fotografía muestra la prueba de una de las perforaciones que bombea en el manto a 80 m de profundidad. El caudal de bombeo es de 60 m^3/h y el agua sale a 13 °C. Este sistema deberá permitir un ahorro de combustible primario de 175 tep al año.**

ciertos medios calcáreos karstificados en los que algunos vacíos de alteración o de disolución pueden originar circulaciones rápidas procedentes de la superficie y, por consiguiente, variaciones de temperatura. Estos casos son raros, de modo que los mantos superficiales suelen presentar una temperatura media anual de 10° a 15 °C según su localización geográfica, temperatura que aumenta con la profundidad a razón de 3 °C por 100 metros. Constituyen, por tanto, un recurso perfectamente adecuado al uso de las bombas de calor en el campo de la calefacción doméstica. Recordemos que la bomba de calor (PAC) permite, con la ayuda de un líquido frigorígeno interno (en general, freón) accionado por un compresor para describir un ciclo termodinámico entre dos fuentes térmicas, suministrar a una red de calefacción (fuente caliente) calorías captadas a muy baja temperatura en el medio exterior (fuente fría). A título de ejemplo, una PAC que tome calorías en el agua de un manto a 12 °C podrá suministrar calor a 45 °C absorbiendo del compresor el 25 % de la energía térmica producida en el circuito de calefacción, mientras que el 75 % restante procederá del agua del manto.

En la mayoría de las bombas de calor actualmente instaladas, el aire exterior es la fuente fría. Muy fácil de tomar, esta ilimitada fuente presenta el inconveniente de dar unos resultados muy pobres, en virtud del segundo principio de la termodinámica cuando la temperatura exterior desciende; ello impone una menor utilización de este aparato cuando la temperatura exterior es inferior a 5 °C y a recurrir en tal caso a una calefacción auxiliar. El gran interés de los mantos reside, precisamente, en el carácter constante de su temperatura y en el hecho de que los rendimientos de los aparatos permanecen estables cualquiera que sea la temperatura exterior. Teniendo en cuenta su amplia distribución por el territorio nacional, constituyen un verdadero «yacimiento» calorífico a muy baja temperatura cuyas modalidades de explotación convendría considerar.

En la región parisiense puede citarse el manto arenoso del Yprésien que cubre el norte de la cuenca de París a 80 m de profundidad media; su temperatura (13 °C) y el caudal medio obtenible por canalización (60 m^3/h) hacen de él un objetivo absolutamente idóneo para un hábitat colectivo del orden del centenar de viviendas, ya que puede tomar de la fuente fría una potencia de 600 kW. Este manto presenta una alternativa interesante a la geotermia «profunda» que se explota en la cuenca parisiense, ya que allí se encuentra también el manto del Dogger, a 1 800 m de profundidad y a 70 °C. Efectivamente, la geotermia «profunda» está sometida a un efecto de escala, ya que son precisos varios millares de viviendas para amortizar las perforaciones a tales profundidades; ello obliga a montajes financieros y a soluciones técnicas a menudo muy complejas. El manto del Yprésien, por el contrario, permite operaciones más pequeñas y de realización más fácil que, por otra parte, beneficiarían a un mercado potencial importante dada la densa urbanización de la región.

El Sol en auxilio de los mantos

Queda por saber el modo de explotar térmicamente un recurso de esta naturaleza. El método más simple consiste

En octubre, 220 viviendas de Aulnay-sous-Bois se caldearán por bomba de calor aplicada a un manto regional: todo un reto para la heliogeotermia.

en tomar el agua subterránea, extraer las calorías y arrojar el agua enfriada a una red de evacuación. Formalmente posible, este método no es recomendable a gran escala porque agotaría rápidamente un recurso cuya tasa de renovación es muy débil en comparación con las necesidades potenciales. Por contra, es posible reinyectar el agua enfriada en el manto por medio de una segunda perforación convenientemente alejada de la de producción. En este caso queda protegido el recurso hidráulico; en cambio, desde el punto de vista térmico se explota un recurso de tipo «minero» no renovable a escala de la explotación humana, y en el seno del medio tendrá lugar una perturbación fría que, según las condiciones hidrogeológicas locales y las energías extraídas, podrá resultar nociva para el propio usuario (retorno de las aguas frías a los pozos de producción y caída de potencia en la instalación) o para su vecindad (dificultad de garantizar la temperatura del recurso térmico en los alrededores). Esta dificultad será tanto más marcada en las zonas urbanas, donde las distancias disponibles para instalar los pozos son, en general, escasas.

Para paliar estos inconvenientes hemos propuesto un dispositivo: el doblete heliogeotérmico de recarga interestacional. Permite proteger, además del recurso hidráulico, el recurso térmico(5) del acuífero explotado, gracias a la utilización estacional de la energía solar captada a muy baja temperatura y, por consiguiente, a muy bajo coste. En verano, la radiación solar y las calorías tomadas del aire ambiental tibio permiten reconstituir el potencial energético del acuífero degradado localmente en invierno a causa de la reinyección de las aguas enfriadas por la bomba de calor (fig. 2). Este procedimiento permite garantizar la temperatura en el pozo de producción y limitar considerablemente el impacto térmico que produce en el medio la inyección de frigorías en invierno; de este modo es posible un amplio desarrollo de la utilización térmica del manto en zonas urbanas.

Este dispositivo está en vías de realización en Aulnay-sous-Bois para 220 viviendas colectivas nuevas(6) y entrará en servicio en octubre de 1982 (fig. 3). Las bombas de calor cubrirán el 98 % de las necesidades: 320 toneladas de combustible doméstico que serían consumidas por un sistema de calefacción central serán sustituidas por 620 MWh eléctricos (consumo de las bombas de calor y de las bombas de circulación) para las necesidades de referencia (calefacción + agua caliente sanitaria) que son de 2 200 MWh. El ahorro de combustible primario así conseguido será de 175 tep por año (1 mWh eléctrico = 0,22 tep). En el aspecto económico, el sobrecoste de inversión de esta primera operación se amortizará en diez años: representa menos del 10 % del coste total de la construcción.

En fase de desarrollo, el sistema podría amortizarse en un periodo más corto, de cinco a siete años, y en todo caso se trata de una inversión económicamente compatible con las modalidades habituales de financiación del hábitat.

Dentro de la gama de inmuebles de uso terciario en los que se dan a la vez necesidades de calefacción y de climatización, pueden ponerse también en práctica procedimientos análogos. Y ello es tanto más sencillo cuanto que, en este caso, no hay necesidad de captadores solares y que las calorías cedidas en verano para la climatización permiten asegurar la recarga térmica estacional del manto. Actualmente, hay en fase de realización un proyecto de este tipo en Montreuil para los nuevos locales de la CGT, utilizando asimismo el manto del Yprésien.

Los trabajos teóricos esbozados hace algunos años han desembocado, pues, en la actualidad, en operaciones de demostración que permitirán comprobar a escala real la validez de los conceptos y la fiabilidad de las técnicas. ¿Qué expansión cabe esperar? En primer lugar, es preciso insistir en el hecho de que en esta materia las reglas del juego están fijadas por la relación entre las necesidades térmicas potenciales, los recursos térmicos disponibles y, sobre todo, la naturaleza del subsuelo local. Por consiguiente, el estudio de la región es una premisa indispensable, habida cuenta del papel preponderante que desempeña la geología. Es también evidente que procedimientos de esta naturaleza, caracterizados por unas elevadas inversiones y un bajo coste de explotación, no pueden desarrollarse «espontáneamente». Una vez realizadas las pruebas técnicas será preciso establecer una normativa jurídica apropiada a su uso y disponer estructuras de financiación estables e idóneas, de manera que conjuguen el interés económico del usuario y los objetivos que la colectividad se fije en materia de utilización de la energía. Esto es lo que ya se ha hecho en Francia por lo que respecta a la geotermia profunda, para la cual se ha conseguido crear un mercado e iniciar ya una dinámica industrial. Bajo estas condiciones, y dentro de un marco regional, puede esperarse que las actuales investigaciones desemboquen en el futuro en un auténtico desarrollo industrial.

Pascal Iris y
Ghislain de Marsily.

(5) P. Iris. *Définition d'un dispositif de chauffage par pompe à chaleur et héliogéothermie. Rapport Commissariat à l'énergie solaire. Plan construction. Commission des Communautés européennes.*
(6) *Seguimiento científico asegurado por el centro de información geológica de la Escuela de Minas de París de la que forman parte los autores. Constructor: Sociedad de HLM, F.F.F.*

COLECCIONE

MUNDO CIENTIFICO

A LA VENTA LAS TAPAS



Deseo que me envíen:

☐ las TAPAS .... 650 ptas.*

Efectuaré el pago mediante:

☐ contrarrembolso más gastos de envío
☐ cheque adjunto

Nombre ____________________

Profesión ____________ Tel. ________

Domicilio ____________________

Población ____________ D.P. _____

Provincia ____________ Firma

*Precio válido sólo para España.

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
Editorial Fontalba,
Valencia, 359, 6.º
Barcelona-9 (España)
Tel. (93) 258 55 07/08

Con sistema especial de varillas metálicas que le permite *encuadernar usted mismo.*

Mantenga *en orden y debidamente protegida* su revista de cada mes.

Cada ejemplar puede extraerse del volumen cuando le convenga, sin sufrir deterioro.

Nuestra Galaxia

por James Lequeu

James Lequeux es astrónomo del Observatorio de París-Meudon. Una parte de sus trabajos recientes trata de la distribución de la materia interestelar en nuestra galaxia, la formación de las estrellas y los rayos cósmicos en el centro de la misma.

■ Paradójicamente, es más difícil determinar la estructura de nuestra galaxia que la de la galaxias lejanas. La dificultad proviene de nuestra posición en el interior del sistema. A est obstáculo de tipo geométrico tenemos que añadir otro: el polvo estelar absorbe gran part de la luz visible que proviene de las estrellas y la atmósfera se encarga de atenuar otras lon gitudes de onda. Actualmente, gracias al desarrollo de la astronomía espacial y de l radioastronomía, nuestra galaxia está siendo por fin explorada de manera extensiva. Cad vez se obtienen mapas más precisos de su estructura espiral. Pero paralelamente han surgi do nuevos enigmas: nuestra galaxia no es tan conocida como podría parecer a primera vista

■ Gracias a su anteojo primitivo, Galileo pudo mostrar en 1610 que la Vía Láctea está constituida por estrellas. Sin embargo, pese a los reiterados esfuerzos ha sido necesario esperar tres siglos para constatar que la Vía Láctea —también llamada la Galaxia— es un vasto sistema de estrellas plano, de 100 000 años-luz de diámetro ($9{,}7.10^{17}$ km) donde el Sol y su sistema planetario ocupan una posición excéntrica. Ya a finales del siglo XVIII, el astrónomo inglés William Herschel advirtió que los millones de estrellas que pueblan el cielo forman un sistema plano, donde la Vía Láctea propiamente dicha señala el plano de simetría. Fue sólo en 1916-1917 cuando el norteamericano Harlow Shapley dio el paso final, pero su modelo de la Galaxia, el primero correcto al menos a grandes rasgos, no fue aceptado hasta varios años después.

La lentitud de la historia de la Astronomía galáctica no es sorprendente. Las observaciones ópticas de las partes alejadas de nuestra galaxia son, de hecho, casi imposibles debido a la extinción de la luz causada por el polvo interestelar. El espacio que separa las estrellas no está vacío, en efecto, sino ocupado por un gas distribuido muy irregularmente, mezclado con pequeños granos de polvo. Esta materia interestelar, descubierta en 1904, forma un disco aún más plano que el de las estrellas, y aparece como una banda absorbente que separa en dos la Vía Láctea (fig. 1). Dicha banda hace totalmente invisible el centro galáctico, que se encuentra en la constelación de Sagitario. Por suerte, el polvo sólo afecta a la luz visible y a la ultravioleta, y muy poco al resto del espectro electromagnético. Por ejemplo, la Galaxia es prácticamente transparente a las ondas de radio e infrarrojas, a los rayos X bastante intensos y a los rayos gamma. La observación de estos campos sería, por tanto, particularmente fructuosa para el estudio de la estructura galáctica. Pero, desgraciadamente, nada es perfecto: la atmósfera terrestre es opaca a estas longitudes de onda, excepto en el espectro de las de radio, que son accesibles al suelo. El triunfo de la astronomía es, pues, el haber abierto las observaciones a las longitudes de onda hasta entonces inaccesibles. Actualmente se obtienen resultados espectaculares a partir de observaciones en ondas milimétricas y de las que se efectúan desde el espacio en los espectros infrarrojo y gamma. Algunas de estas observaciones han suscitado nuevos enigmas. Han despertado de nuevo el interés por el asunto: parece que nuestra Galaxia no es tan bien conocida como habríamos podido creer a primera vista (cuadro).

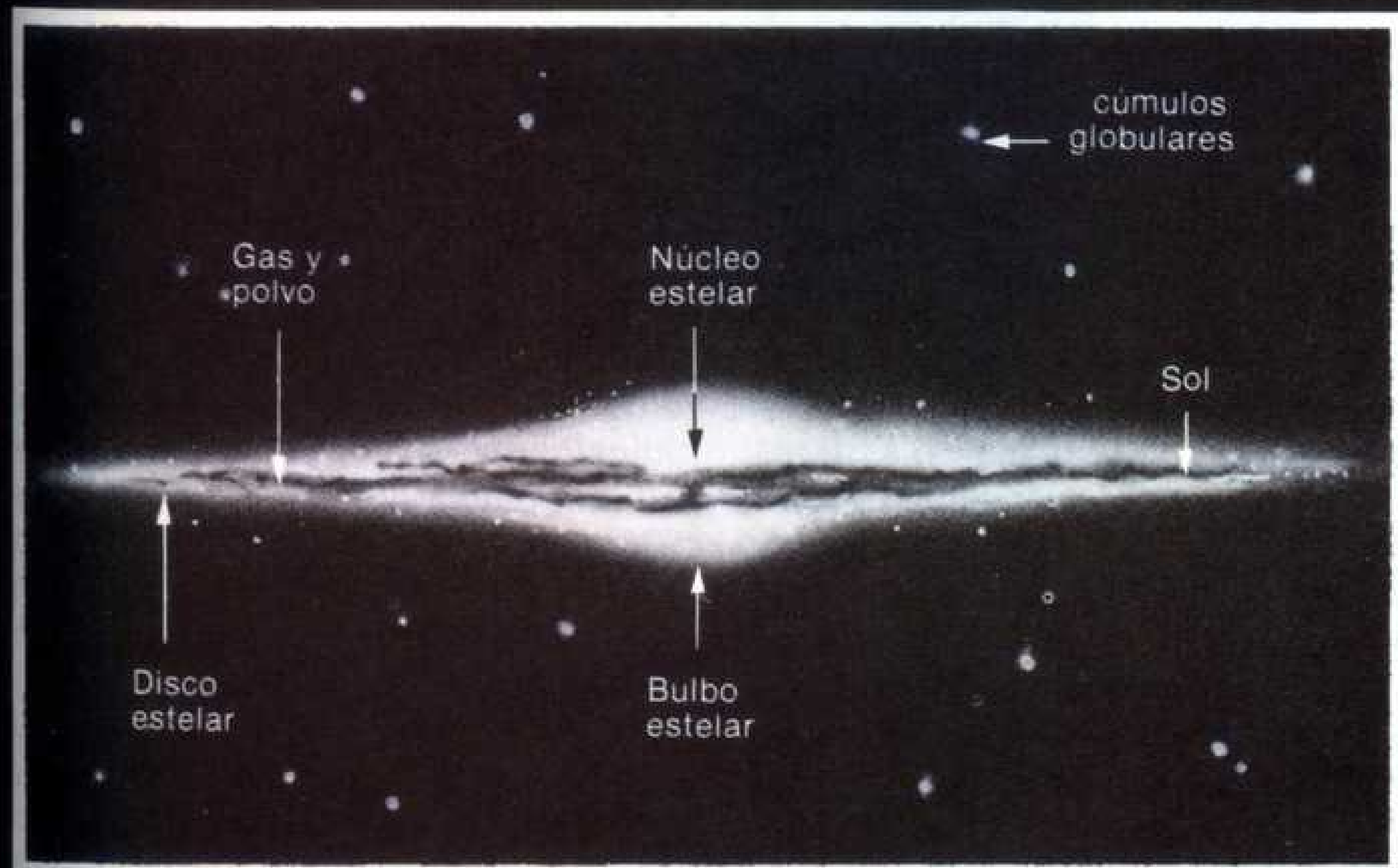
La estructura espiral

El estudio de nuestra galaxia es indispensable para la comprensión de otras, puesto que en ella podemos ver objetos de débil luminosidad, inobservables en estas últimas. Inversamente, para el estudio de nuestra galaxia, necesitamos los conocimientos reunidos acerca de las galaxias exteriores semejantes, o que al menos tal nos parece.

Fue en 1845 cuando William Parsons, duque de Rosse, astrónomo irlandés, reparó en que un objeto celeste, la Nebulosa de los Perros de Caza, presentaba una forma espiral. Después de Rosse ha sido observado un número importante de estas espirales celestes. Los astrónomos de principios de siglo pensaban que estos objetos de forma insólita formaban parte de nuestra galaxia. La puesta en servicio del telescopio de 2,5 m de Monte Wilson permitió descubrir su naturaleza extragaláctica poniendo de manifiesto estrellas individuales muy débiles, comprobándose que eran galaxias análogas a la nuestra. De hecho, aproximadamente la mitad de las galaxias que pueblan nuestro universo presentan una estructura espiral. Tienen aspectos diferentes en los detalles, pero desde las regiones centrales hacia el extremo, puede seguirse sin duda el dibujo de dos o de un pequeño número de brazos espirales más o menos regulares. Por otro lado, las estrellas no están repartidas uniformemente en las galaxias. Así, para conocer la morfología particular de la nuestra es esencial la medida de las distancias relativas entre los objetos que la constituyen.

Ahora bien, desde siempre los astrónomos han experimentado dificultades importantes para saber a qué distancia se encuentran los objetos que observan. La apreciación de las distancias re lativas de los diversos objetos es tant más difícil en nuestra galaxia por cuan to estamos situados en su propio plano Clásicamente, la distancia de la estrellas más próximas se mide obser vando su posición respecto a la estrellas lejanas, en diferentes época del año: su desplazamiento aparent debido al movimiento orbital de la Tierra permite estimar su distancia mediant una construcción geométrica muy sen cilla *(distancia geométrica)*. Pero sola mente las distancias de las estrella más próximas pueden ser medidas po este método, el cual no pudo ponerse en práctica hasta el siglo XIX. De hecho hay que extrapolar para todos los obje tos alejados. Así, cuando se observa en ciertas estrellas la presencia de unas u otras líneas espectrales, o la forma glo bal del espectro o aun una variación pe riódica en el brillo, propiedades que es tán ligadas a su luminosidad intrínseca es posible estimar la luminosidad de las estrellas lejanas semejantes en las cuales se reconoce una de estas pro piedades. Entonces, comparando esta luminosidad intrínseca estimada con su brillo aparente se puede obtener su dis tancia *(distancia fotométrica)*. También se puede reconocer que ciertos grupos de estrellas tienen el mismo origen. La observación de su desplazamiento sobre la esfera celeste, dicho de otro modo, su movimiento propio, permite

Figura 1. **Sobre esta fotografía** (A) **de la gala xia espiral, NGC 4565, vista casi de perfil, se puede distinguir el disco estelar, el bulbo y su núcleo central extremadamente brillante, así como la banda absorbente de polvo intereste lar. Así veríamos nuestra galaxia, si la pu diéramos observar desde el exterior. En el es quema** (B) **hemos reconstruido la galaxia su puestamente vista de perfil. La masa está constituida esencialmente por estrellas repar tidas en el disco estelar, que tiene 100 000 años-luz de diámetro y aproximadamente 1 000 años-luz de espesor. El sol y su sistema planetario ocupan una posición excéntrica. Los millones de estrellas no están repartidas uniformemente: su densidad aumenta desde los extremos hacia el centro. La banda hori zontal dibuja la distribución del gas intereste lar, aún más plana que las de las estrellas. Los puntos blancos exteriores representan los cúmulos globulares.** (Foto A: U.S. Naval Observatory.)


cúmulos
globulares
Gas y
polvo
Núcleo
estelar
Sol
Disco
estelar
Bulbo
estelar

Los brazos espirales no son estructuras materiales, sino fenómenos ondulatorios.

calcular indirectamente la distancia por un método estadístico *(distancia estadística).* Estos métodos se utilizan conjuntamente sólo desde comienzos de nuestro siglo.

El mismo movimiento de la Galaxia puede contribuir a la medida de las distancias. En efecto, el conjunto galáctico está en rotación alrededor de un eje central perpendicular al disco. Ahora bien, en 1927 Jan Oort, astrónomo holandés, descubrió que todas las estrellas no invierten el mismo tiempo en efectuar una vuelta completa alrededor del centro galáctico. Se puede estudiar su movimiento a partir de observaciones espectroscópicas de su velocidad siguiendo la línea de mira (es decir, su velocidad radial), obtenida midiendo el desplazamiento de las líneas espectrales. Éstas se desplazan hacia el rojo o hacia el azul según el objeto considerado se aleje o se aproxime al observador (es el efecto Doppler, que aumenta o disminuye la longitud de onda recibida de una fuente en movimiento). Por otra parte, Oort utilizó medidas de posición en diversas épocas, medidas clásicas para determinar el movimiento propio de las estrellas. Discutiendo estas medidas, Jan Oort descubrió que el sistema estelar presenta súbitamente una deformación local en las regiones próximas al sol. Dedujo que la Galaxia es un sistema plano que gira sobre sí mismo deformándose. La atracción gravitacional de las regiones internas sobre las regiones externas está compensada en cada punto por la fuerza centrífuga asociada al movimiento. Por tanto, se constata que el exterior de la Galaxia invierte más tiempo en efectuar una vuelta completa alrededor del centro que las partes centrales. Así, la Galaxia no gira sobre sí misma como un sólido, es decir, que su velocidad angular no es constante. Este fenómeno se conoce con el nombre de «rotación diferencial».

Este descubrimiento del astrónomo holandés es de gran importancia para el estudio de la estructura galáctica, pues nos ofrece un nuevo método de determinación de distancias: si se determina la velocidad radial de un punto cualquiera de la galaxia, una vez conocida la curva de rotación galáctica (fig. 2), es decir, la velocidad de rotación en función de la distancia al centro galáctico, se puede deducir la distancia del objeto celeste considerado. En efecto, cada punto de una línea de mira está animado de una velocidad, respecto a nosotros, de alejamiento o de aproximación, función de su distancia, debido a la deformación continua de la galaxia al girar (si girara como un disco rígido, esta velocidad radial sería nula y el método sería inaplicable). Las distancias determinadas por este método son las llamadas *distancias cinemáticas* y son prácticamente las únicas disponibles a muy grandes distancias en el plano galáctico.

Sin embargo, las estrellas lejanas situadas en el plano galáctico quedan invisibles debido a la extinción de la luz que emiten por el polvo interestelar. Así, pues, las distancias de las regiones lejanas no se pueden deducir a partir de la observación de las estrellas. Afortunadamente, las estrellas no son las únicas componentes galácticas: el gas, más o menos denso según las regiones, se distribuye en el conjunto de la Galaxia. En las regiones de poca densidad de materia interestelar, donde la densidad es inferior a algunas centenas de átomos por centímetro cúbico, el gas está constituido por hidrógeno en forma atómica.

Fue el descubrimiento, en 1950, de la línea del hidrógeno atómico interestelar en la longitud de onda de 21 cm lo que permitió estudiar por primera vez la distribución de este componente, y obtener la primera cartografía del conjunto del disco galáctico utilizando el método de las distancias cinemáticas. Es, en efecto, bastante fácil medir el desplazamiento Doppler de la longitud de onda de esta línea emitida por diversas acumulaciones («nubes») de gas en una dirección determinada, y deducir la velocidad radial de los puntos considerados. A partir de ahí se puede obtener su distancia utilizando la curva de rotación, deducida de las observaciones en 21 cm. Repitiendo esta operación en todas las direcciones se puede establecer un mapa del gas interestelar en el disco. Los Países Bajos, bajo el impulso de Oort, han desempeñado un papel impulsor en este campo. Los primeros mapas, que datan aproximadamente de 1955, mostraron una estructura espiral bastante irregular, parecida a la de las galaxias exteriores a la nuestra, y que se puede ver ópticamente y ahora incluso en radio gracias a las cartografías en la línea de 21 cm (fig. 3A). Sin embargo, no se debe prestar demasiada confianza a los detalles de los mapas ni a su aspecto cuantitativo por las dificultades creadas en la medida de las distancias por los movimientos no circulares, aleatorios o sistemáticos, de las nubes de gas interestelar, que realmente efectúan débiles y desordenados movimientos de agitación, unas respecto a otras. Además, en las nubes interestelares relativamente densas, el hidrógeno ya no está en forma de átomos, y aquéllas no son detectables en la línea de 21 cm. El hidrógeno se encuentra en ellas en forma de moléculas H_2, desgraciadamente inobservables con los medios actuales. La componente molecular del medio interestelar, cuya importancia es por tanto considerable puesto que las estrellas se forman en las nubes moleculares prácticamente no era conocida antes de las primeras observaciones hechas por los radioastrónomos de los laboratorios de la Bell Telephone en 1970 por lo que hace a la línea de la molécula del monóxido de carbono interestelar. Esta línea de 2,6 mm de longitud de onda es muy intensa y visible en todo el plano galáctico. En principio es posible medir el desplazamiento Doppler de la línea de CO y a partir de ella hacer lo mismo que con la línea del hidrógeno atómico. Pero sólo hay trazas de la molécula de CO en el medio interestelar y es muy difícil remontarse, a partir de su observación, a una estimación cuantitativa de la masa de las nubes moleculares. Sin embargo, se han hecho muchas observaciones sistemáticas de la línea de CO, principalmente en Estados Unidos y ahora en Australia y en Francia. Los resultados obtenidos son aún algo ambiguos: aunque el óxido de carbono tiene a grandes rasgos la misma distribución que el hidrógeno atómico se configura en espiras bien marcadas, el contraste entre la densidad de las nubes moleculares en y entre éstas es aún poco conocido.

Al tiempo de las investigaciones en la banda de 21 cm los astrónomos ópticos no permanecieron inactivos y procedieron a un estudio sistemático de las nebulosas gaseosas brillantes de nuestra galaxia, formadas por gas ionizado por la radiación de estrellas calientes. Ahora bien, la observación de las galaxias espirales lejanas muestra que estas nebulosas se disponen principalmente a lo largo de los brazos espirales, que quedan perfectamente dibujados. Por tanto, dichas nebulosas son excelentes «delineantes» de la estructura espiral. Como emiten líneas en el espectro visible y de radio, la medida del corrimiento espectral de estas líneas permite averiguar la velocidad radial de estas nebulosas y, si la curva de rotación de la Galaxia se supone conocida, se pueden deducir sus distancias cinemáticas. Por otra parte, se puede medir por los métodos clásicos la distancia de las estrellas calientes que ionizan estas nebulosas, lo cual permite establecer la comparación entre las distancias cinemáticas y las distancias estelares clásicas: si se identifican, se obtiene la curva de rotación. Fue a partir de tales estudios que Y.M. e Y.P. Georgelin, del Observatorio de Marsella, construyeron en 1976 un mapa de la Galaxia utilizando diversas observaciones ópticas y de radio, muchas de las cuales fueron hechas por ellos mismos (fig. 3B). Este mapa es considerado aún hoy como el que mejor describe la estructura espiral de la Galaxia. El trazado de los brazos espirales no coincide perfectamente

con el obtenido a partir de la línea de 21 cm, lo que subraya la dificultad de la interpretación de las observaciones en 21 cm más que diferencias reales de estructura.

Paralelamente a estos descubrimientos, se han efectuado muchos progresos en nuestra comprensión del origen de la estructura espiral. La mayor dificultad inherente a dicha estructura, dificultad que se ha resistido mucho tiempo a las tentativas de interpretación, es la persistencia de la estructura espiral a pesar de la deformación continua de la Galaxia por rotación diferencial. En efecto, si los brazos ya existían de origen y participaban de la rotación diferencial, dada la edad de la Galaxia deberían aparecer enrollados varias decenas de veces, y hasta en una o dos centenas de vueltas. Ahora bien, las galaxias espirales externas presentan las mismas características generales que la nuestra, y en particular, una rotación diferencial; a pesar de todo, sus brazos espirales están enrollados sólo de media a dos vueltas como máximo.

Este «dilema del enrollamiento» no fue resuelto hasta finales de los años 1960 por los norteamericanos Chi-Chiao Lin y Frank Shu, quienes prosiguiendo los esfuerzos del precursor sueco Bertil Lindblad, dieron la siguiente explicación: los brazos espirales no son estructuras materiales que participen de la rotación de conjunto de la Galaxia. De hecho, sólo son fenómenos ondulatorios. Lo que vemos como una estructura espiral no son cadenas de materia, sino la posición de los valles de las «ondas de densidad». En el plano de la Galaxia la materia oscila formando ondas de compresión, cuyas crestas tienen forma de espiral. Estas ondas de densidad resultan de inestabilidades del disco de estrellas, y giran como un cuerpo sólido a su propia velocidad angular alrededor del centro galáctico, cuyo gas es comprimido periódicamente, por tanto, al pasar la onda; los brazos de espiral visibles en la línea de 21 cm del hidrógeno atómico y en la del CO corresponden precisamente a estas zonas de compresión.

Incluso actualmente se piensa, a partir de consideraciones teóricas, que las nubes moleculares se forman por fusión y condensación de las nubes más difusas de hidrógeno atómico en estas zonas de compresión. Además, el aumento de presión ligado a la onda puede destruir el equilibrio de las nubes

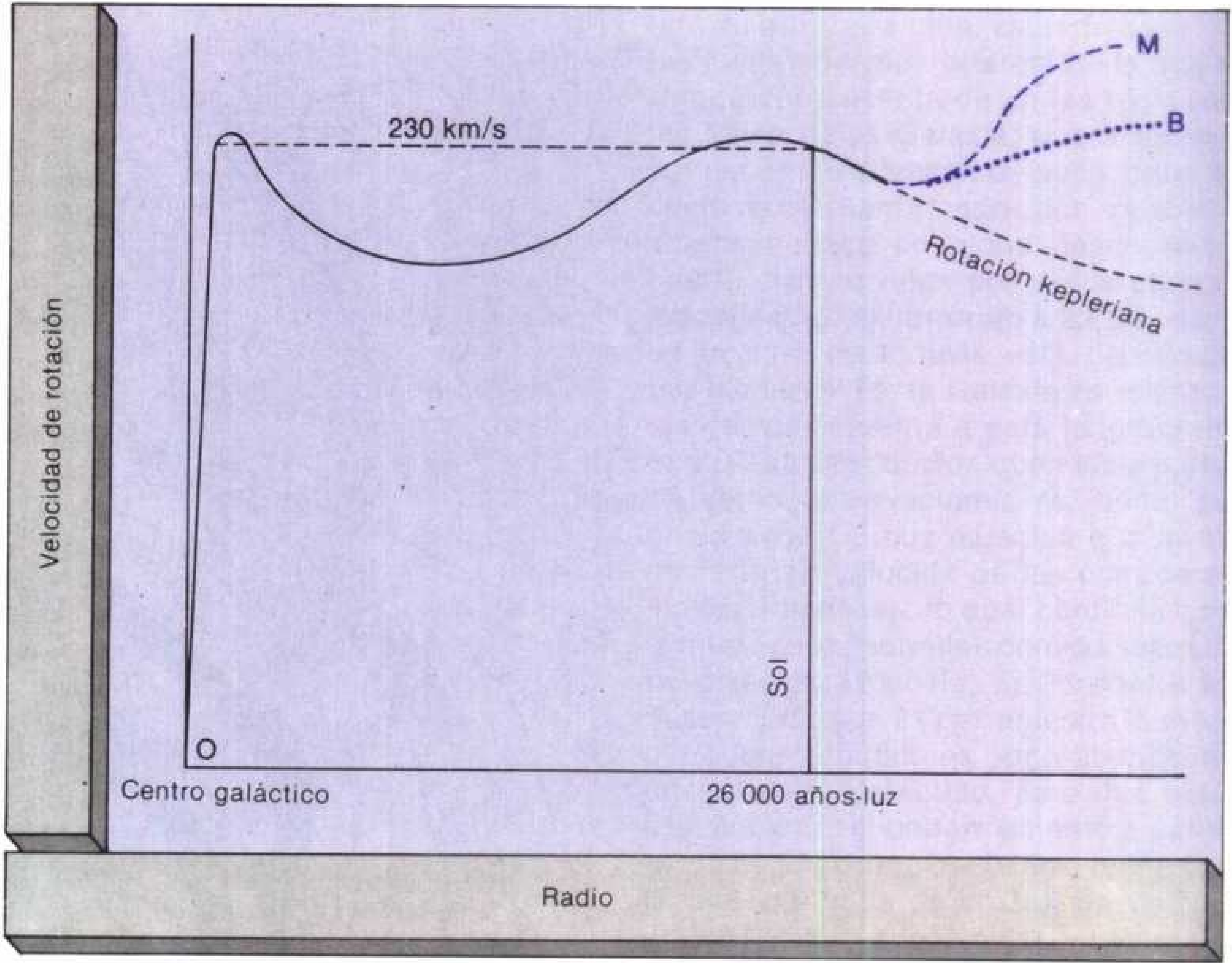


Figura 2. **La Galaxia no gira como un sólido, sino que se deforma continuamente; cada punto de la visual tiene una velocidad respecto a nosotros que es función de su distancia al centro galáctico. Si se determina esta velocidad radial, una vez conocida la velocidad de rotación de la Galaxia en función de la distancia al centro galáctico, se puede deducir la distancia del objeto celeste considerado. El esquema representa la curva de rotación de la Galaxia, donde la velocidad de rotación viene dada en función del radio. Más allá del Sol, la curva se remonta, señal de la presencia de grandes cantidades de masa en estas regiones. Las letras indican las curvas obtenidas por diferentes autores. Las curvas de rotación obtenidas recientemente (M y B) se extienden más lejos. Si no hubiera, o fuera poca la masa existente más allá del Sol, como se pensaba antes, la curva de rotación descendería, lo cual no ocurre.**

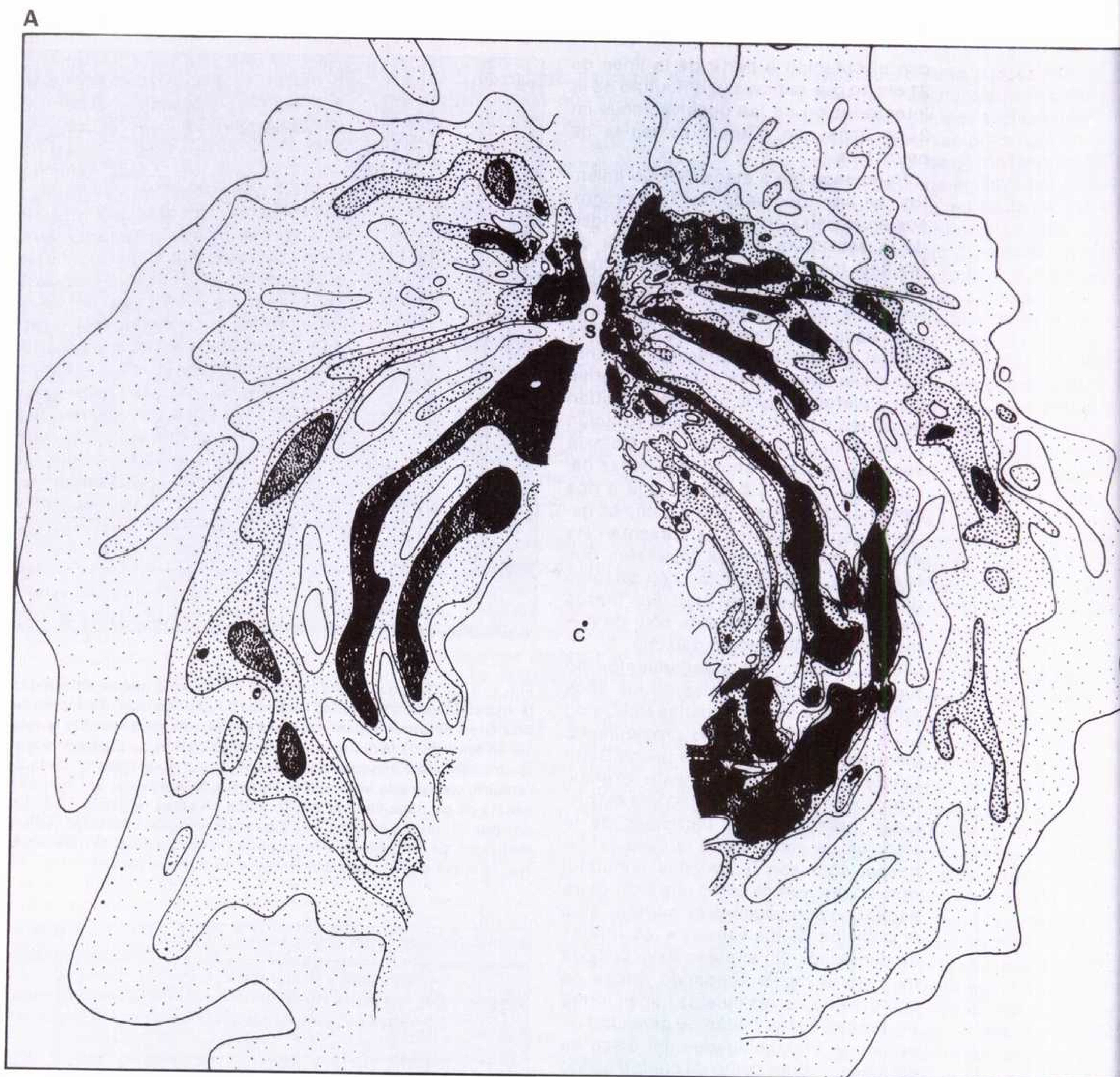
distancia Sol-centro galáctico	26 000 años-luz
radio de la galaxia visible	45 000 años-luz
escala de la altura patrón de la distribución de estrellas	300 o 1 000 a-l, según las estrellas
escala de altura de la materia interestelar	350 a-l (en el Sol)
velocidad de rotación en el Sol	230 km s^{-1}
masa de las estrellas visibles	2,2 10^{10} $M_{\odot}$ (2)
masa de la materia interestelar atómica	1,5 10^{9} $M_{\odot}$
masa de la materia interestelar molecular	1,0 10^{9} $M_{\odot}$?
masa total de la galaxia (incluyendo el halo masivo)	5 10^{11} $M_{\odot}$?
luminosidad total de la galaxia	1,4 10^{10} $L_{\odot}$ (3)

(1) 1 a.l. = 1 año-luz 10^{16} m
(2) 1 $M_{\odot}$ = 1 masa solar = 2,0 10^{30} kg
(3) 1 $L_{\odot}$ = 1 luminosidad solar 3,9 10^{26} W

Este cuadro resume los datos modernos sobre la Galaxia obtenidos tras varios decenios de esfuerzos continuos. Algunos están afectados de incertidumbres importantes. Seguramente no habría unanimidad entre los astrónomos sobre algunas de las cifras, que responden al criterio personal del autor.

Comparando la distribución de las estrellas jóvenes con la de las estrellas viejas podemos esperar comprender la historia del pasado de nuestra galaxia.

A



La emisión en infrarrojo lejano de la Galaxia y el espectro de masa de las estrellas

■ La emisión en infrarrojo lejano es esencialmente debida al polvo interestelar, calentado por la absorción de los fotones provenientes de las estrellas. Se puede estimar que una fracción aproximadamente igual a la mitad de la energía de las estrellas se convierte así en radiación infrarroja. Aunque las estrellas jóvenes y masivas, que irradian sobre todo en el ultravioleta, sean más eficaces para calentar el polvo, puesto que éste absorbe mejor el ultravioleta, el calentamiento por las estrellas poco masivas sigue siendo importante. Por contra, las estrellas jóvenes y masivas son las únicas responsables de la ionización del gas interestelar, formando así las nebulosas gaseosas, las cuales se asocian generalmente a las nubes de moléculas y polvo, de emisión infrarroja mensurable. Por tanto, es posible comparar una cantidad pertinente a las estrellas masivas (la emisión de radio de la nebulosa gaseosa) con otra que lo es al conjunto de estrellas de todas las masas existentes en la región (la radiación infrarroja lejana). La relación existente entre estas cantidades indica, por consiguiente, al menos cualitativamente, la fracción de estrellas de gran masa entre todas las formadas. A partir de sus observaciones en el infrarrojo lejano efectuadas en globo, y de los datos de radio obtenidos en diversos observatorios, principalmente en Bonn, astrónomos franceses y holandeses señalaron que esta relación radio/infrarrojo varia sistemáticamente con la distancia al centro galáctico (Boissé et al., *Astronomy and Astrophysics, 94,* 265, 1981). Esto indica que en las regiones centrales se forma una porción relativamente más débil de estrellas de gran masa que en las regiones exteriores de la Galaxia, confirmando así a gran escala un resultado ya encontrado localmente por el suizo G. Burki. Esta constatación es de gran importancia para comprender los detalles de los mecanismos de formación de las estrellas, aún extremadamente inciertos.

B

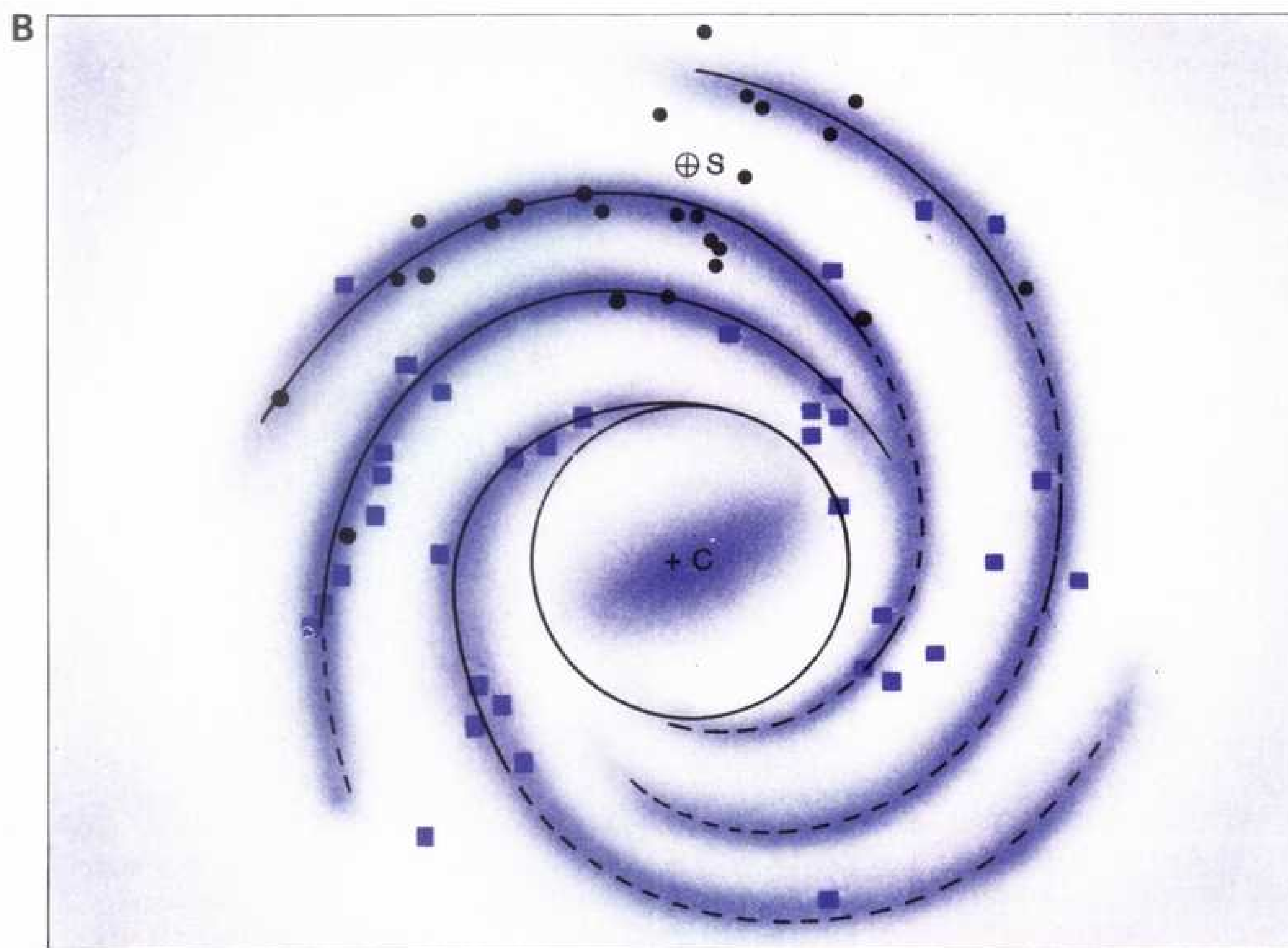


Figura 3. **En la historia contemporánea, el primer logro importante en nuestro conocimiento de la Galaxia data de los años 1950 y se debe a los radioastrónomos que revelaron su estructura espiral. Desde entonces, numerosas observaciones en diferentes longitudes de onda han permitido cartografiar nuestra galaxia.**
(A) **Este mapa ya antiguo (1965) fue obtenido por radioastrónomos holandeses y australianos a partir de observaciones en la línea de 21 cm del hidrógeno atómico. Describe la distribución de la componente atómica del gas interestelar. S y C representan respectivamente la posición del Sol y del centro galáctico.**
(B) **Este mapa fue trazado en 1976 por Y.M. y Y.P. Georgelin del Observatorio de Marsella a partir de la distribución de las nebulosas gaseosas observadas en radio (cuadros) o en óptica (círculos). Todavía hoy se considera como el mejor mapa de la estructura espiral de la Galaxia.**

moleculares así formadas, que entonces se hunden sobre sí mismas más y más deprisa. De este modo, algunas regiones de la nube se hacen más densas y más calientes. Cuando la temperatura es suficientemente elevada como para que se puedan iniciar las reacciones termonucleares de fusión del hidrógeno, se forman estrellas en la nube, y esta formación diríase un proceso contagioso: en efecto, las considerables perturbaciones impuestas a lo que queda de la nube molecular por las estrellas que acaban de nacer generan a su vez el hundimiento de otras regiones y la formación de nuevas estrellas. Una vez iniciado, el proceso de formación de estrellas se extiende rápidamente por el brazo de la espiral. Las estrellas jóvenes más masivas y más calientes ionizan el gas en torno, formando las nebulosas gaseosas que, como ya he dicho, son las que mejor describen la estructura espiral.

A pesar de que la teoría de Lin y Shu encierra aún dificultades (en particular, en cuanto al origen de la energía necesaria para luchar contra la disipación de la energía de las ondas), por primera vez ofrece una explicación razonable de la estructura espiral en tantas galaxias.

La distribución del gas y de las estrellas

Después de esta descripción morfológica se impone una descripción más física. Nuestra galaxia tiene una estructura espiral, pero ¿cómo se distribuyen sus principales componentes en función de la distancia al centro galáctico? Para responder a esta cuestión es necesario tener una visión más cuantitativa de la Galaxia. De hecho, las estrellas y la materia interestelar no revisten cuantitativamente la misma importancia (fig. 4). Las estrellas son las que contienen la parte esencial de la masa de nuestra galaxia. Se puede calcular directamente la distribución de esta masa en el plano del disco galáctico y, por tanto, de la mayoría de las estrellas a partir de la curva de rotación, puesto que la fuerza centrífuga en cada punto está compensada por la atracción gravitacional (proporcional a la masa) de las regiones internas de la Galaxia. Por su parte, las observaciones en la línea de 21 cm dan la distribución de la masa de la componente atómica del gas interestelar. Las observaciones en la línea del CO dan, con un factor de escala aún poco conocido, la distribución de la masa de la componente molecular del gas interestelar. Ahora bien, estas tres distribuciones son muy diferentes: la masa total está concentrada en las regiones centrales de la Galaxia, que a su vez contienen relativamente poco gas, lo cual viene confirmado por observaciones hechas en globo desde hace cuatro o cinco años por varios grupos japoneses en el infrarrojo a 2,4 μm, donde la emisión todavía está dominada por las estrellas; la Galaxia es relativamente transparente a esta longitud de onda.[1] La distribución obtenida a partir de estas observaciones es, como se podía esperar, muy parecida a la de la masa total deducida de las consideraciones dinámicas, lo cual confirma que la masa de las estrellas domina sobre la del disco galáctico (fig. 5). Por contra, la observación en 21 cm muestra que el hidrógeno atómico es poco abundante en el centro galáctico, pero que está distribuido casi uniformemente a partir de 15 000 años-luz del centro hasta los límites extremos de la Galaxia visible. En cuanto al gas molecular, muestra un máximo marcado en un anillo de 15 000 años-luz de radio, pero es raro en las regiones externas.

Es muy interesante comparar con estas tres distribuciones la de las estrellas masivas. La vida de estas últimas es relativamente corta, si bien todas las que se ven de este tipo se han formado hace poco tiempo. Cabe esperar comprender, así, no sólo las leyes que rigen la formación de las estrellas, sino también, comparando la distribución de estas estrellas jóvenes con la de las estrellas viejas, la historia del pasado de nuestra galaxia. La distribución de las estrellas jóvenes se puede deducir indirectamente de las nebulosas gaseosas que ellas mismas ionizan. Como señalaron los radioastrónomos de Bonn (Lindsey Smith, Peter Biermann y Peter Mezger), las estrellas jóvenes masivas siguen muy bien la distribución de las nubes moleculares, lo cual sugiere fundadamente que nacen precisamente allí (fig. 5).[2] Nuestras ideas generales sobre la formación de las estrellas, que están basadas en la observación directa de la asociación de estrellas jóvenes con las nubes moleculares (en la región de Orión, por ejemplo), concuerdan perfectamente con estas deducciones.

Desde hace algunos años se han venido haciendo observaciones sistemáticas de la Galaxia en el infrarrojo lejano (alrededor de una centena de μm), en particular por astrónomos franceses.[3] La emisión en esta banda está esencialmente dominada por la radiación térmica del polvo interestelar calentado a unos 30 K por la luz de las estrellas. A partir de estas observaciones se constata que cerca de la mitad de la energía irradiada por las estrellas galác-

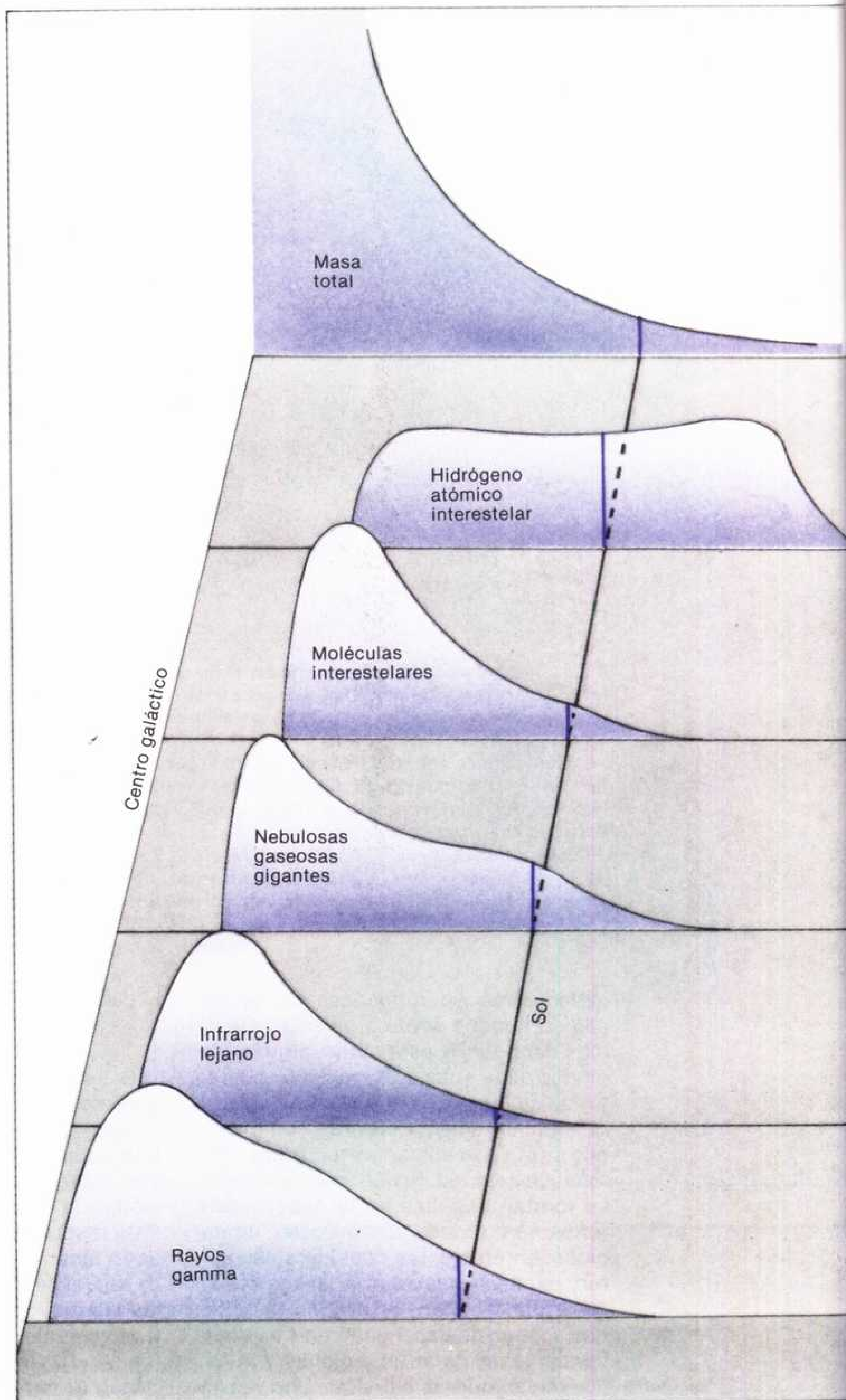
(1) Véase, por ejemplo, Satio Hayakawa et al., *Astronomy and Astrophysics, 100,* 116, 1981.
(2) *Astronomy and Astrophysics, 66,* 65, 1978.
(3) R. Gispert, J.L. Puget, G. Serra, *Astronomy and Astrophysics, 106,* 293, 1982.

Los rayos cósmicos aportan informaciones muy valiosas sobre las regiones del universo que han atravesado.

ticas es absorbida y después reemitida por el polvo. Este fenómeno sorprendente no es por tanto un fenómeno menor, aunque su descubrimiento ha tenido que esperar el desarrollo reciente de plataformas estabilizadas montadas en globos y en bolómetros muy sensibles refrigerados con helio líquido. La distribución de este infrarrojo lejano concuerda, en general, con la emisión de la línea CO y las de las estrellas jóvenes: las tres presentan un fuerte máximo en el anillo de 15 000 años-luz de radio que he mencionado anteriormente. Se encuentra un anillo de estas características en la galaxia de Andrómeda, nuestra vecina próxima. Los máximos localizados en la emisión del infrarrojo lejano coinciden con las regiones de la Galaxia en las que es particularmente activa la formación de estrellas. Indican la radiación del polvo en las nubes moleculares calentadas por las estrellas recién nacidas (estas nubes también están en la región del máximo en la línea de CO). Por tanto, se constata que la emisión en infrarrojo se debe en gran parte a las estrellas masivas. Sin embargo, las diferencias cuantitativas entre su distribución y la de las estrellas masivas nos informan indirectamente sobre la distribución de las estrellas menos masivas, sobre las cuales, por otra parte, tenemos muy poca información (véase cuadro).

Las partículas de alta energía en la Galaxia

Las observaciones ópticas, de radio y en infrarrojo permiten, pues, un estudio morfológico y cuantitativo de la Galaxia. Pero toda fuente de información es preciosa para completar este conocimiento galáctico. Así, no se pueden omitir las informaciones aportadas por los rayos cósmicos. La Tierra recibe, en efecto, una lluvia permanente de partículas provenientes del espacio (esta radiación particular fue puesta de manifiesto en 1912 por el físico austriaco Victor Hess). En 1948, Bradt y Peters señalaron que en el exterior de la atmósfera esta radiación comprende no solamente los electrones y protones, sino además los núcleos pesados completamente despojados de su corteza electrónica. La característica más sorprendente de estas partículas es su enorme energía, que puede alcanzar 10^{20} eV. De hecho, la densidad de energía cinética de estas partículas es comparable a la de los fotones, a la del movimiento del gas interestelar y a la del campo magnético galáctico (la igualdad aproximada entre estas diferentes formas de energía es, ciertamente, más que una coincidencia, y plantea un problema que aún no ha sido resuelto de manera satisfactoria).



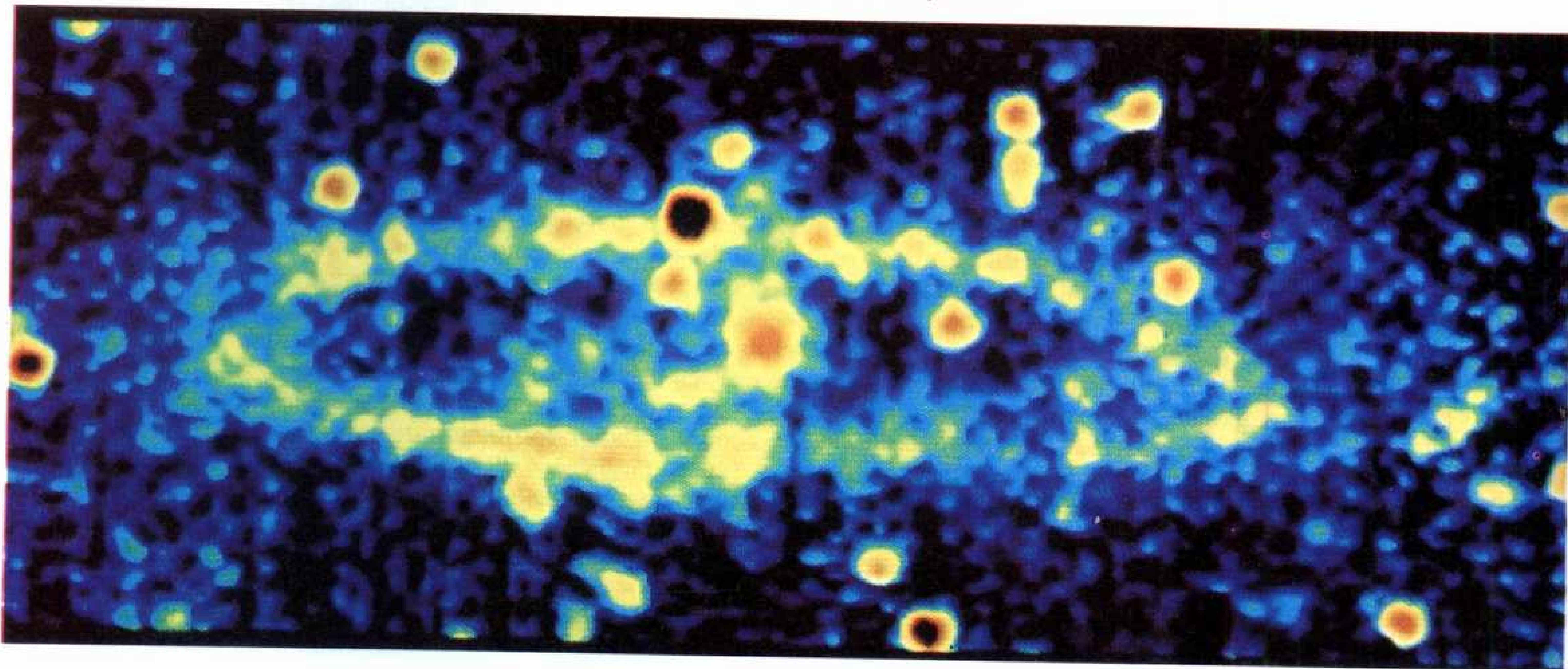
El origen de estas partículas cósmicas no está aún bien elucidado, pero es cierto que actualmente la gran mayoría de ellas provienen del exterior del sistema solar. Circulan por toda la Galaxia, por lo que las que llegan hasta nosotros nos pueden aportar informaciones muy valiosas acerca de las regiones del universo que han recorrido.

Los rayos cósmicos no se propagan en línea recta. Estas partículas de alta energía se desvían a lo largo de su trayectoria bajo la acción de los campos magnéticos del espacio que atraviesan. Así, los electrones cósmicos, con velocidades próximas a la de la luz, interaccionan con el campo magnético produciendo ondas de radio (es el mecanismo llamado sincrotón). Esta emisión sincrotón galáctica ha sido cartografiada en detalle por al menos dos generaciones de astrónomos. Aparece concentrada a lo largo del brazo espiral, pero forma un disco mucho más espeso que el gas (fig. 6) e incluso un halo casi esférico cuya existencia, durante mucho tiempo discutida, se ha confirmado desde hace algunos años. Esto in-



Figura 4. (A) En este esquema hemos representado la distribución de la densidad proyectada sobre el plano galáctico, por unidad de superficie, de los diversos componentes de la Galaxia en función de la distancia al centro galáctico. De arriba abajo: la masa total deducida de la curva de rotación o de la emisión infrarroja próxima a la Galaxia (véase fig. 5); el hidrógeno atómico, deducido de las observaciones en la línea de 21 cm; las moléculas interestelares deducidas de las observaciones de la línea de CO en 2,6 mm; las nebulosas gaseosas gigantes; la radiación infrarroja lejana, que indica *grosso modo* la distribución de la luminosidad de las estrellas jóvenes o bastante jóvenes; la radiación gamma que resulta de la interacción de los rayos cósmicos con el gas interestelar. Las escalas de las ordenadas de estas curvas son arbitrarias. No obstante, se puede observar la similitud entre las cuatro últimas curvas. Así, todas presentan un fuerte máximo en un anillo de 15 000 años-luz de radio. En la galaxia de Andrómeda se encuentra un anillo de este tipo. Estos máximos coinciden con las regiones de la Galaxia donde es particularmente activa la formación de estrellas. (B) En este croquis hemos representado una sección de nuestra galaxia sobre la cual los diversos componentes aparecen aproximadamente a escala: estrellas, gas, cúmulos globulares, etc.

Figura 5. La distribución de las estrellas jóvenes puede deducirse indirectamente de la de las nebulosas gaseosas ionizadas por ellas, como apunta esta foto, que ofrece un aspecto insólito de la galaxia de Andrómeda: fue obtenida con el radiotelescopio de 100 m del Instituto Max Planck de Bonn, y cartografía la emisión de la galaxia en la longitud de onda de 6 cm. En estas longitudes de onda corta de radio la emisión aparece dominada por la radiación térmica de las nebulosas gaseosas, ionizadas por las estrellas jóvenes.



dica que los electrones, y probablemente el conjunto de los rayos cósmicos, no están confinados en el disco galáctico, donde son probablemente (o muy posiblemente) acelerados. Están difundidos en un volumen mucho más grande en cuyo interior están tal vez aprisionados. Desgraciadamente, no sabemos nada cuantitativo a este respecto, puesto que sólo disponemos de una cantidad observable (la emisión de radio) para dos incógnitas (el flujo de electrones y el campo magnético).

Afortunadamente, la astronomía de los rayos gamma nos da informaciones independientes sobre los rayos cósmicos galácticos y, por consiguiente, sobre las regiones por las que se propagan. La Galaxia fue observada en rayos gamma primeramente por los satélites norteamericanos OSO 8 y SAS 2, y más recientemente con mucho más detalle por el satélite europeo COS B, lanzado en 1975. La emisión gamma está muy concentrada, como el gas, a lo largo del plano galáctico (fig. 7). Se compone de una radiación difusa a la cual se superponen al menos veinticinco fuentes discretas, de las cuales la mayoría aún no han sido identificadas. Esta emisión presenta, también, un máximo a lo largo de un anillo, a 15 000 años luz del centro de la Galaxia.

Con el tiempo una galaxia contiene cada vez menos materia interestelar y más «restos muertos».

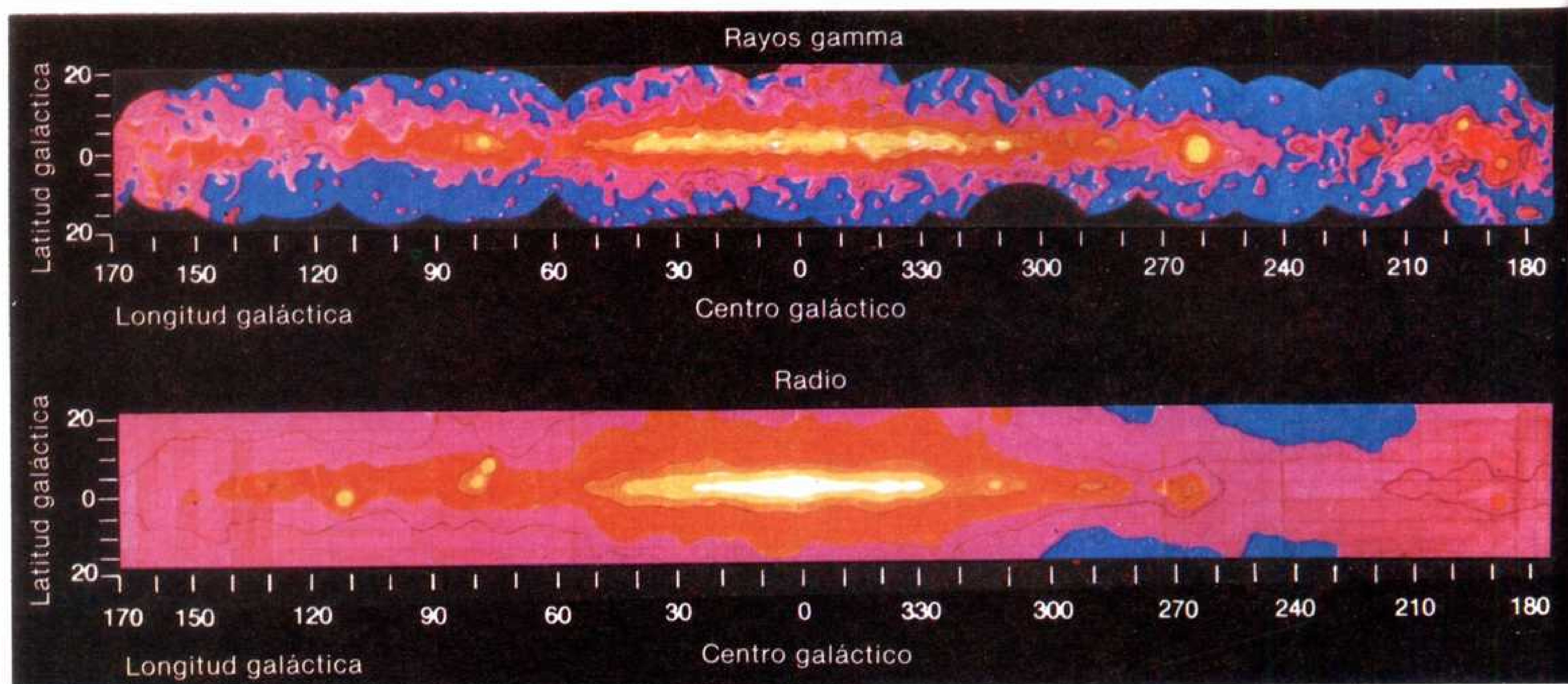


Figura 6. **La observación de la Galaxia en el espectro de rayos gamma completa eficazmente las observaciones más clásicas. La emisión gamma proviene de la interacción de las partículas cósmicas de alta energía con el gas interestelar. Así, a partir de las observaciones gamma se puede obtener el producto del flujo de rayos cósmicos por la densidad de materia interestelar a diferentes distancias del centro galáctico y deducir la distribución de la materia interestelar. La emisión gamma de la Vía Láctea fue cartografiada (arriba) por el satélite europeo COS B lanzado en 1975. Como se puede constatar en este documento, está concentrada a lo largo del plano galáctico y presenta un máximo a lo largo de un anillo a 15 000 años-luz del centro de la Galaxia (dirección del centro galáctico en el medio). El análisis de estos datos muestra que en las regiones externas de la Galaxia sólo hay un poco de gas en forma molecular cuando, a la inversa, en las regiones centrales, donde la formación de estrellas es activa, debe de existir una cantidad importante de gas molecular que desgraciadamente no es detectable con los medios actuales. En la foto inferior fue la emisión de radio de 408 MHz la que cartografiaron los radiotelescopios de Bonn (Alemania), de Jodrell Bank (Inglaterra) y de Parkes (Australia). A esta frecuencia relativamente baja, la emisión de radio proviene de la interacción de los rayos cósmicos con el campo magnético galáctico. Esta emisión aparece concentrada a lo largo del brazo espiral, pero forma un disco más espeso que el gas interestelar, lo cual indica que el conjunto de rayos cósmicos no está probablemente confinado en el disco galáctico.**

Hay dos mecanismos susceptibles de producir la emisión gamma difusa de la Galaxia. Por una parte, la interacción de los protones cósmicos con los núcleos interestelares produce piones neutros, que seguidamente se desintegran en fotones gamma; por la otra la radiación gamma también es emitida como consecuencia del frenado de los electrones cósmicos que pasan próximos a los núcleos de los átomos y de las moléculas interestelares. Hay buenas razones para pensar que estos dos procesos son de importancia comparable en la Galaxia. La emisividad gamma por átomo de materia interestelar se puede deducir de la combinación de las observaciones de la radiación gamma próxima al Sol con el flujo local conocido de los rayos cósmicos del gas interestelar. Acorde esta emisividad gamma por átomo de materia interestelar «observada» con las predicciones teóricas gamma, a partir de la medida del flujo gamma se puede obtener el producto del flujo de rayos cósmicos por la densidad de materia interestelar a diferentes distancias del centro galáctico. Esta información puede ser utilizada de diferentes maneras. La tendencia actual es deducir la distribución de la materia interestelar.

Dos resultados importantes emergen de un análisis reciente de los datos del satélite COS B hecho por el consorcio europeo que los explota.[4] Adoptando la hipótesis de que el flujo de rayos cósmicos es en todas partes del mismo orden que el flujo conocido cerca del Sol —hipótesis del todo razonable— el análisis muestra que en las regiones externas de la Galaxia la cantidad de gas interestelar no puede ser muy superior a la del gas atómico, deducida la cantidad de éste a partir de las observaciones en la línea de 21 cm. Parece, por tanto, que las regiones externas de la Galaxia contienen sólo un poco de gas molecular.

La situación es totalmente distinta en las regiones centrales, en las que es muy activa la formación de estrellas. Si suponemos que allí el flujo de los rayos cósmicos todavía es igual al flujo próximo al Sol, hace falta más gas del que indican las observaciones en la línea de 21 cm para justificar el flujo de rayos gamma observado. Está claro, pues, que debe haber una cantidad importante de gas molecular: aproximadamente tres veces más que de gas atómico (recordemos que es en este gas molecular donde se forman las estrellas). No obstante, esta cifra sólo indica un límite superior, pues tenemos motivos suficientes para creer que el flujo de los rayos cósmicos debe ser más bien mayor en estas regiones activas que cerca del Sol. La cantidad de gas molecular podría, por tanto, ser sobreestimada. Sin embargo, este límite superior queda al lado inferior de la gama de las estimaciones hechas por diferentes autores a partir de las observaciones de la línea de CO, estimaciones cuyo carácter algo incierto ya he mencionado. Esto muestra cómo la observación de la Galaxia en el espectro más bien «exótico» de los rayos gamma completa eficazmente las observaciones más clásicas.

La evolución de la Galaxia: enigmas por desvelar

Sería fastidioso extenderse más en los detalles de la estructura de la Galaxia. Por otra parte, no es menos interesante en el estudio de dicha estructura el intentar comprender cómo nuestra galaxia ha adquirido el aspecto que le conocemos y, de una manera más general, conocer una evolución cuyo resultado actual es el único accesible. Hace relativamente poco que, siguiendo los esfuerzos de los precursores de los años 1960, Eggen, Lynden-Bell y Sandage o Maarteen Schmidt, se ha intentado abordar este formidable problema, en el que intervienen prácticamente todos nuestros conocimientos de astronomía y astrofísica. Huelga decir que aún estamos lejos de su solución; así, pues, sólo quisiera mencionar aquí algunos descubrimientos e ilustrar los principales enigmas aún por resolver.

En nuestra galaxia, como en las otras, las estrellas se forman a partir de

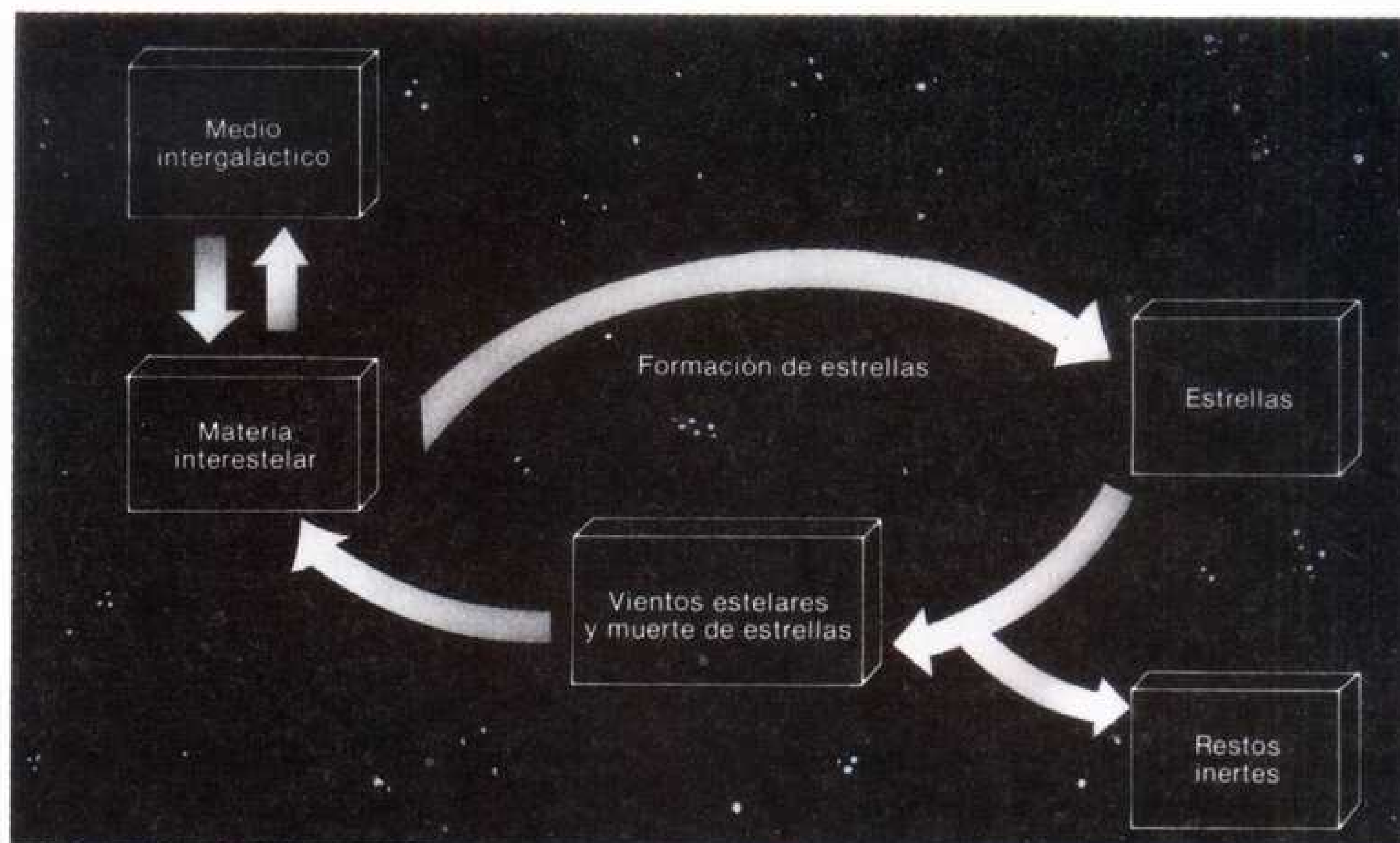


Figura 7. **En las galaxias las estrellas se forman a partir del medio interestelar. A lo largo de su vida, y sobre todo al final, las estrellas reinyectan la mayor parte de su masa en el medio interestelar. Esta materia eyectada por las estrellas es rica en elementos pesados, producto de las reacciones termonucleares que tienen lugar en su seno. En cuanto una estrella llega al final de su existencia, da lugar a un astro compacto de vida extremadamente larga. Estos restos «muertos» no participan más en los intercambios gas-estrellas y, con el tiempo, la galaxia contiene cada vez menos gas y más cantidad de estos astros compactos inertes y estrellas de débil masa y vida muy larga.**

la materia interestelar. A lo largo de su vida, y sobre todo al final, reinyectan en el medio interestelar una fracción mayor de su masa, que han enriquecido en elementos pesados mediante reacciones nucleares. Al final de su existencia queda solamente un astro compacto, enana blanca, estrella de neutrones o incluso un agujero negro, de vida extremadamente larga y que, por tanto, no participa en la evolución posterior de la galaxia, es decir, en los intercambios gas-estrellas (fig. 7). Así, a lo largo del tiempo, una galaxia contiene cada vez menos materia interestelar y más estrellas, en particular de débil masa y muy larga vida, así como restos muertos.

Por otra parte, la materia interestelar, al igual que las estrellas de formación reciente se hacen cada vez más ricas en elementos pesados. A primera vista, estas ideas concuerdan con la observación: en las regiones internas de nuestra galaxia hay poco gas, muchas estrellas y una notable abundancia de elementos pesados. Sin duda estas regiones han evolucionado rápidamente, siendo muy activa la formación de estrellas, en razón de la densidad relativamente elevada. A la inversa, las regiones externas de la Galaxia contienen pocas estrellas, mucho gas pobre en elementos pesados y parecen poco evolucionadas.

Sin embargo, diferentes hechos observacionales no concuerdan con este modelo simple. Por ejemplo, la distribución de la abundancia de los elementos pesados en las estrellas de diferentes edades no puede ser reproducida cuantitativamente por un modelo de este tipo. Por otra parte, el anillo a 15 000 años-luz del centro galáctico es asiento de una formación estelar muy activa, lo cual da la impresión de que el gas no pueda subsistir mucho tiempo y que no pueda constituir una estructura permanente, contrariamente a lo que sugiere la observación. Se puede intentar reconciliar la teoría y la observación suponiendo que el gas exterior cae continuamente sobre el plano galáctico: en particular, este proceso puede ocupar incesantemente el anillo interno y compensar la pérdida rápida de gas debida a la formación de estrellas. Esta idea no es tan arbitraria como pueda parecer: hace ya unos veinte años, Jan Oort y sus colegas holandeses descubrieron que las nubes de gas atómico caían sobre el plano galáctico. Sin embargo, no sabemos aún de dónde provienen estas nubes y si caen en cantidad suficiente como para justificar las exigencias del modelo que acabamos de exponer para la evolución galáctica.

Un descubrimiento fundamental en los últimos años, que constituye otro motivo de preocupación para los astrónomos, es la existencia de halos masivos alrededor de las galaxias espirales. Fue el estudio de las galaxias exteriores (sobre todo en Holanda y en Estados Unidos, desde hace unos diez años) lo que condujo a este descubrimiento, cuya paternidad se reparte entre numerosos investigadores. Como ya he dicho anteriormente, la velocidad de rotación de una región determinada de una galaxia nos informa sobre la masa total en el interior del radio correspondiente. Si la masa se hace despreciable más allá de cierto radio, los objetos situados más distalmente tendrán una velocidad de rotación decreciente según la inversa de la raíz cuadrada de su distancia al centro de la galaxia (rotación kepleriana). Este decrecimiento jamás ha podido ser observado, a pesar de que los refinamientos considerables de las técnicas observacionales permiten actualmente realizar medidas de la velocidad radial de objetos muy débiles en las regiones más externas de las galaxias: al contrario, las curvas de rotación se ofrecen desesperadamente planas hasta las regiones muy alejadas del centro, regiones donde ya casi no se ven más estrellas. Así fue observado en nuestra galaxia por astrónomos marselleses hace ya varios años, hecho que pasó inadvertido hasta que la generalidad del fenómeno fue establecida por la observación de numerosas galaxias exteriores. Ahora bien, una curva de rotación plana (velocidad de rotación independiente de la distancia al centro) indica que la masa total interior a un radio determinado es proporcional a dicho radio. Gran parte de la masa de las galaxias se encuentra, pues, en las regiones más externas, donde no se encuentra más que un poco de materia observable. Otras consideraciones, principalmente dinámicas, sugieren fuertemente que esta materia invisible forma un halo masivo más o menos esférico. Este enigma, llamado de la «masa ausente», sigue irresuelto. En efecto, todavía no tenemos idea de qué puede constituir dicho halo: estrellas de neutrones, agujeros negros, numerosas estrellas invisibles de masa débil (¿algo como planetas gigantes?). Los neutrinos, si se revelan de masa no nula, pueden ofrecer otra solución interesante. De todas maneras, este descubrimiento constituye uno de los grandes enigmas de la astronomía moderna.

Así, el estudio de la estructura de la Galaxia aunque no tan espectacular a primera vista como la de los pulsars, quasars o agujeros negros, constituye en realidad un campo de investigación muy rico, en relación con muchas ramas de la física, incluso en la física de las partículas elementales. Es, además, una etapa necesaria para la comprensión del Universo. Gracias a los recientes progresos de los medios de observación, la astronomía galáctica ha dado en los últimos años un nuevo paso adelante, y Europa ocupa un lugar privilegiado en gran parte de este campo, en el que cabe esperar un nuevo aflujo de descubrimientos europeos, gracias a los grandes telescopios ópticos disponibles, a los instrumentos del Instituto de Radioastronomía Milimétrica franco-alemán-español, y al satélite astrométrico *Hipparcos* cuyo lanzamiento está previsto para 1986. ■

(4) H.A. Mayer-Hasselwander et al., *Astronomy and Astrophysics, 105,* 164, 1982.

Para más información:

La bibliografía referente a la estructura galáctica está muy dispersa. Pueden consultarse las obras generales siguientes, en particular:

■ D. Mihalas, P. Routly, P.Mc Rae, *Galactic astronomy,* Freeman, 1968.
■ A. Blaauw, M. Schmidt, *Galactic structure,* University of Chicago Press, 1965.
■ H.Y. Chiu, A. Muriel, *Galactic astronomy,* Gordon and Breach, 1970.
Estas obras son, desgraciadamente, antiguas.
Cabe consultar también:
■ W.B. Burton, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 14,* 275, 1976.

I Encuentro de Astrónomos Iberoamericanos

Durante los días 6, 7 y 8 de agosto se celebró en Granada el I Encuentro de Astrónomos Iberoamericanos. Organizado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía, asistieron 72 astrónomos de Argentina, Brasil, Colombia, España, México, Portugal, Uruguay y Venezuela, y su objetivo era exponer la situación general de la Astronomía en dichos países, efectuar un balance de los recursos humanos y materiales disponibles y buscar la cooperación en todos los puntos posibles. De ahí, que durante la primera sesión se expusiera la situación de cada país, mientras que en la segunda se constituyeron mesas redondas con miras a estudiar las posibilidades de colaboración entre los diferentes participantes, quedando la tercera para la presentación de comunicaciones especializadas.

El estado de la Astronomía y los acuerdos alcanzados aparecerán en las correspondientes actas. No obstante, hay aspectos interesantes, incluso para el lector no especializado en Astronomía, que deben ser considerados aquí. Un primer análisis revela los siguientes:
1) Existe una gran disparidad en el grado de desarrollo de la Astronomía. Frente a países, como México, que poseen un nivel considerable, hay otros donde la Astronomía sólo es incipiente (Colombia). En cualquier caso, las perspectivas futuras se ven fuertemente condicionadas por la evolución de la crisis económica mundial.
2) Las condiciones de observación son muy diferentes en cada país. Frente a países como Chile (ningún astrónomo chileno asistió a la reunión) o España, que poseen una situación geográfica privilegiada, hay otros cuyas posibilidades son nulas. Esto ha conducido, en los primeros, a la construcción de grandes observatorios por parte de entidades extranjeras que, a cambio, conceden un determinado porcentaje (comprendido entre el 10 % y el 20 %) del tiempo de observación. En el caso de España, por ejemplo, el número de grandes telescopios ya instalados o a punto de serlo es muy elevado y, por consiguiente, el número de horas de observación por cubrir es impresionante.
3) Resulta sorprendente el escaso cultivo teórico de la Astrofísica, pues el coste de este tipo de investigación es comparativamente bajo. En cualquier caso, la coordinación entre trabajo teórico y trabajo observacional siempre es muy rentable.
4) El número de líneas de trabajo seguidas por cada centro es, en general, demasiado elevado.
5) Salvo excepciones, el número de profesores es insuficiente para formar especialistas en Astronomía, que, por tanto, deben formarse en el extranjero, razón, quizá, del excesivo número de dichas líneas de trabajo.
6) No parece que por parte de los gobiernos de los diversos países haya una política clara y estructurada de promoción de la Astronomía. En todo caso, para conseguir un desarrollo armónico y de coste mínimo sería conveniente que los propios astrónomos establecieran unas directrices científicas comunes.

En esta reunión se puso de manifiesto la necesidad de disponer de una publicación iberoamericana de alto nivel científico y de circulación internacional. Al respecto, los participantes acordaron por unanimidad plantear el tema ante las respectivas comunidades y organizar un debate en torno a los dos puntos siguientes:
1) La creación de una publicación, en cuyo caso habría que considerar una serie de aspectos tales como: título, periodicidad, lenguas oficiales, financiación, comité editorial y otros aspectos que se juzguen pertinentes.
2) Aprovechar la experiencia de la Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, con existencia de 8 años y considerable prestigio internacional y (sin hacer por el momento cambios en el nombre de la misma, cuerpo editorial, modo de financiación, etc.) fomentar entre la comunidad astronómica iberoamericana el compromiso de publicar en ella. Si en un periodo razonable de tiempo, el volumen de artículos iberoamericanos se ha convertido en la parte dominante de la Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica se considerará entonces su conversión en revista iberoamericana. Esta propuesta se hizo en el mejor espíritu del encuentro, en el que organizadores y participantes subrayaron en todo momento la necesidad de proceder primero con hechos, y luego añadir los aspectos formales necesarios.

Bajo estos dos puntos se esconde un problema fundamental: ¿Qué idioma se utiliza como vehículo de comunicación científica? ¿Se adoptan el castellano y el portugués o bien, debido a la fuerza de las circunstancias (número pequeño de astrónomos iberoamericanos, etc.), se adopta el inglés y se incide en el campo de la divulgación y de los libros de texto?

Por último, se acordó que el Instituto de Astrofísica de Canarias editara con periodicidad trimestral unas hojas de información general que pudieran interesar a toda la comunidad astronómica iberoamericana.

Jordi Isern.

Las enfermedades de nuestros antepasados

por Jean Dastugue

Jean Dastugue es director del Instituto de Antropología de la facultad de Medicina de Caen.

■ El estudio de las enfermedades y traumatismos sufridos por el hombre en las épocas prehistórica e histórica trata de responder a dos preguntas: ¿es comparable a la nuestra la patología de nuestros antepasados? ¿Podemos, atendiendo a sus revelaciones, determinar con mayor precisión el modo de vida de aquéllos? Inicialmente, la paleopatología buscaba en el hombre prehistórico las huellas de traumatismos provocados por una vida violenta y llena de peligros. El artículo de Jean Dastugue muestra que procede reconsiderar este supuesto. Los numerosos trabajos debidos a su pluma o auspiciados y dirigidos por él modifican totalmente lo que creíamos saber de la vida durante la Prehistoria. Así, la fractura de cráneo de la mujer de Cro-Magnon no se debe a un golpe de hacha de piedra sino a un accidente en su sepultura. Algunas formas de artrosis indican una vida más bien sedentaria, al igual que las fracturas o luxaciones testimonian «accidentes domésticos» más que el resultado de violentos combates.

■ La paleopatología ha estudiado a las poblaciones medievales tanto como a las momias y restos humanos de las turberas; sin embargo, son los vestigios prehistóricos los que han concentrado su interés, con miras a investigar las enfermedades propias de estos periodos. Ahora bien, y eso es lo que resulta más sorprendente, las enfermedades de los hombres prehistóricos son, con escasas variantes, casi las mismas que las de nuestros abuelos y de nosotros mismos; hasta el punto de que nuestros remotos antepasados adolecían incluso de las que damos en llamar «enfermedades de la civilización»: escoliosis, artrosis o *hallux valgus.* Puede que sólo la sífilis y algunas otras afecciones les hayan sido ajenas... Las investigaciones del paleopatólogo ponen de manifiesto, pues, desde los tiempos más pretéritos accesibles a su estudio, la inexorable permanencia de la enfermedad. No es ésta una de las aportaciones menos importantes de la paleopatología.

■ Faltaría al respeto de los lectores de Mundo Científico si pretendiera explicarles el significado del término «paleopatología», cuya etimología, se dirá, es perfectamente clara. Se trata, por tanto, del estudio de las *enfermedades antiguas.* Sin embargo, considerando aquí únicamente aquellas que afectan a la especie humana, preciso es deshacer una ambigüedad. Para muchos, la noción de «enfermedades antiguas» implica que, en el pasado, los representantes del género *Homo* se han visto afligidos de males diferentes de los que actualmente nos aquejan, que bien habrían desaparecido bien evolucionado hacia las formas presentes, de todo punto distintas. Procede señalar, no obstante, que *atendiendo al estado actual de nuestros conocimientos* nada en absoluto justifica semejante conclusión. Negar su posibilidad sería anticientífico, ciertamente, tanto como afirma su realidad, dado que no hay hecho alguno concreto en qué basarla.

Dicho lo que antecede, la breve exposición que sigue no tiene otro objeto que revelar el cometido del paleopatólogo, cómo y con qué material trabaja, qué fines persigue y qué resultados ha cosechado hasta el momento.

Material estudiado y objeto de la investigación

Ocioso parece decirlo: el tema de los estudios paleopatológicos viene señalado por los vestigios humanos descubiertos bien fortuitamente bien por obra de metódicas excavaciones arqueológicas. Pero ¿de qué vestigios se trata?

Una primera eventualidad consiste en el descubrimiento de cuerpos humanos *in toto* gracias a las excepcionales condiciones del «medio». Vayan como ejemplo los «hombres de las turberas», cuyo representante más conocido es del de Tollund. Su permanencia en la turba ha permitido una conservación tal del cuerpo, que las partes blandas se encuentran prácticamente intactas (comprendido el tubo digestivo, cuyo contenido ¡ha hecho posible conocer la composición de la última ingesta!). Queda fuera de toda duda que semejantes elementos permiten eventualmente al patólogo apreciaciones de sumo interés. Lamentablemente, tales hallazgos son raros y muy localizados en el espacio (Escandinavia, Gran Bretaña, Alemania del Norte) y en el tiempo (la mayoría datan de la Edad del hierro «escandinava»). Además, de los 690 individuos catalogados en la obra de P.V. Glob,[1] sólo unos cuantos parecen haber llegado al examen del patólogo. Es decir que, pese a su excepcional calidad, este tipo de «material humano» no nos ha proporcionado hasta el presente sino ínfimos datos paleopatológicos.

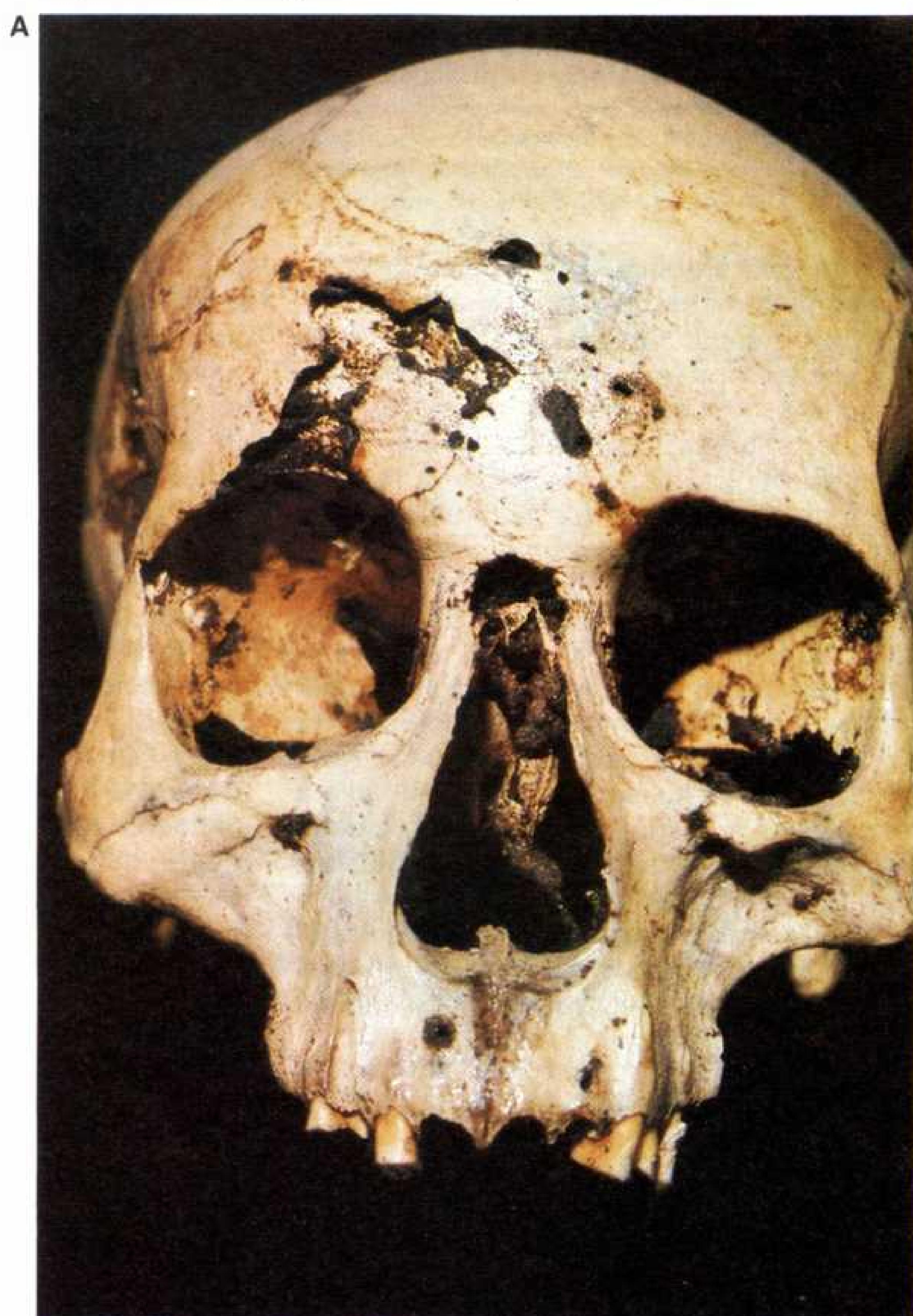
Hay otros casos de conservación espontánea: nos referimos a los de desecación en las arenas de algunos lugares (sobre todo en el Alto Egipto). Pero, entonces es preciso que los tejidos se hayan conservado cualitativamente como en las turberas: las partes «blandas», totalmente deshidratadas, se han vuelto casi irreconocibles, se han contraído y son sumamente frágiles. Es infinitamente raro que, por medio de un tratamiento apropiado, puedan recuperar las características originales que, tan sólo así, harían posible basar con seguridad y validez un diagnóstico paleopatológico. Un tercer contingente de cuerpos humanos estudiables es el representado por las momias, sean del Viejo o del Nuevo Mundo. Conocida es, no obstante, la gran diversidad de procedimientos de embalsamamiento; de donde, la no menor variedad en el estado de conservación de los restos. El extraordinario «frescor» de la «marquesa» de Tai, hallada en China, constituye al efecto un ejemplo único, mientras que las más de las veces el estudio de los tejidos momificados requiere de una preparación previa muy complicada. En la actualidad son principalmente los investigadores norteamericanos quienes, al impulso de A. Cockburn, han perfilado técnicas de investigación que ya no guardan relación alguna con las asequibles a los egiptólogos de los años 1910/1925 (Elliott Smith, A. Ruffer). La ejemplar labor realizada por estos equipos norteamericanos ha sido retribuida con notables resultados; baste citar como ejemplo el estudio de «Pum II», momia de la época de Ptolomeo, donde las investigaciones clínicas, radiológicas, histológicas, serológicas, etc. han permitido poner de manifiesto una compleja patología; en particular, la existencia de una silicosis pulmonar debida a la arena del desierto.

(1) P.V. Glob, *Les hommes des tourbières,* Fayard, 1965.



Figura 1. **Algunas lesiones óseas son de carácter particularmente espectacular. Este tumor del maxilar inferior, hallado en una sepultura medieval del castillo de Caen, fue sin duda fatal para su víctima. Invadió la órbita, la fosa nasal y el seno maxilar, y antes de exteriorizarse debe haber provocado intensos dolores faciales. Dos han sido las tentativas terapéuticas: extracción de todas las piezas de la arcada superior y una curiosa trepanación del malar (indicada por la flecha), que ha tenido tiempo de cicatrizar perfectamente antes de la muerte del sujeto.** (Foto Jean Dastugue.)

A



B



Figura 2. **Las alteraciones del hueso no siempre son resultado de un proceso patológico. Estos tres ejemplos de «pseudopatología» traducen, en efecto, la acción de agentes exteriores muy diversos: las termitas han producido lesiones craneanas en un esqueleto de Mirgissa, Nubia** (A); **choques y golpes varios en la propia sepultura pueden dar razón de falsas fracturas, como esa del cráneo femenino de Cro-Magnon, durante mucho tiempo entendida como fruto de «un golpe de hacha de piedra»** (B), **cuando no de claros accidentes durante los trabajos de excavación** (C), **según testimonia este autor.** (Fotos Jean Dastugue.)

C



El paleopatólogo trabaja como el médico y tropieza con las mismas dificultades para establecer su diagnóstico.

1. Algo de historia

La voz «paleopatología» ha entrado discretamente en la literatura científica en 1892 por obra de un autor norteamericano y en relación con las enfermedades aviares. Pero ya en el curso de los veinte años siguientes han sido realizados estudios, propiamente dichos, en este campo, en particular por parte de egiptólogos anglosajones (Elliott Smith, Ruffer, a quien a menudo se atribuye la paternidad del término). Seguidamente y durante medio siglo, la paleopatologia ha permanecido en la sombra, fuera de algunas ocasionales alusiones por boca de unos cuantos especialistas, llenos de buena voluntad, dispersos en el conjunto del mundo científico; fue ignorada por la mayoría de los médicos, ya que para interesarse en ella es preciso poseer asimismo conocimientos de antropología; y el caso es que la mayoría de los antropólogos no se decidían a abordarla por falta de sólidos conocimientos médicos, no menos necesarios.

Sería tedioso recordar aquí los trabajos —a menudo excelentes— que en la primera mitad de siglo han ido definiendo nuestra disciplina; citaría tan sólo la tesis de León Pales («Etat actuel de la peléopathologie. Contribution à l'étude de la pathologie comparative») que, publicada en 1929, era a la vez un sumario de los conocimientos adquiridos y un ensayo metodológico. Durante muchos años representó la piedra angular sobre la que fueron a apoyarse los trabajos de los investigadores de todo el mundo.

Desde hace una quincena de años asistimos no solamente al resurgir de la paleopatología sino a su decidida progresión, patente tanto por la multiplicación de estudios por doquier como, y sobre todo, por el establecimiento de una verdadera comunidad de investigadores, que se ha concretado desde 1974 en una sociedad única: la Paleopathology Association, fundada por el Dr. Aidan Cockburn[1] de Detroit, con una rama europea cuya vitalidad se ha puesto ya de manifiesto en tres congresos internacionales (Londres, 1976; Turín, 1978; Caen, 1980). Un órgano de enlace, la *Paleopathology Newsletter,* aparece regularmente gracias a la labor de A. y E. Cockburn, y lo hace con un contenido científico —pese a su modesta presentación— equiparable al de las mejoras revistas internacionales de antropología.

(1) El Dr. Cockburn ha fallecido el año pasado, poco después del congreso europeo de Caen que tanto se había beneficiado de su dinamismo y experiencia. Su desaparición representa una pérdida irremplazable para la paleopatología mundial.

Sin embargo, procede señalar que, por muy prometedores que sean los resultados de los trabajos realizados con las momias, éstas no representan más que una ínfima fracción de la humanidad desaparecida y que, además, nuevamente tropezamos aquí con una limitación clara a la vez en el tiempo y en el espacio.

De modo que, en última instancia, la masa más importante —y con mucho— de los documentos de que dispone el paleopatólogo está constituida por los vestigios óseos. De una parte, la inmensa mayoría de las sepulturas humanas no contienen sino esqueletos; de la otra, lo que puede llamarse el periodo «presepulcral» de la humanidad no aporta más que osamentas, pero es el más importante desde el punto de vista de la extensión cronológica (las primeras sepulturas datan de aproximadamente cuarenta mil años). El hueso sigue siendo, pues, la fuente privilegiada de nuestros conocimientos, por lo que hace a la patología antigua; de donde, que aquí atendamos casi exclusivamente a los materiales óseos. Pero, válganos señalar, este material no guarda sino una relación distante con las preciosas preparaciones de los laboratorios de Anatomía. Así, veremos que, incompleto, fragmentado o alterado, el hueso sepulcral reserva al patólogo no pocas sorpresas. Además, si es cierto que el tejido óseo muestra a menudo los estigmas de sus propias enfermedades, pero también aquellos de las que han afectado a otros tejidos, no lo es menos que todo un campo —inmenso— de la patología antigua nos será vedado para siempre por ausencia de toda inscripción sobre el esqueleto. Ésta es la razón de que el paleopatólogo se empeñe encarnizadamente en detectar la más mínima anomalía que pueda revelarse en el hueso, hecho que le lleva a pugnar a diario por que le sea suministrada la totalidad de los vestigios excavados, por ínfimos que pudieren ser, y que asimismo explica, en fin, que no ceje en su empecinamiento por perfeccionar y diversificar sus técnicas de exploración.

¿Cómo trabaja el paleopatólogo?

Podría responderse, sin más: «como el médico». Y cierto es que, en ambos casos, el proceso mental que preside el establecimiento del diagnóstico es fundamentalmente el mismo.

Así, se empieza por el examen «clínico», es decir, por la observación directa del «paciente», la cual consiste del análisis, tan exhaustivo como sea posible, de las anomalías constatadas, a la vez que de una comparación simultánea con los datos anteriormente adquiridos y de la síntesis del conjunto en una hipótesis diagnóstica coherente y plausible.

Sólo después intervendrán las técnicas complementarias: radiología, histología, bioquímica, etc., que a veces bastarán por sí solas para transformar la hipótesis en certeza... ¡a no ser que la destruyan!

Pero, que no se llame a engaño el lector: si en este proceso el médico práctico choca constantemente con obstáculos, incertidumbres y celadas inesperadas, otro tanto le ocurre al paleopatólogo, aunque la naturaleza de los éstos no sea necesariamente la misma. Expliquémonos.

Un primer escollo: la pseudopatología. De entrada, todo parece sencillo: una alteración ósea debe traducir, se entiende, un proceso patológico. Por desgracia para el paleopatólogo, la verdad bien puede ser otra. Enterrado o abandonado a sí mismo, el vestigio óseo ha estado sometido durante siglos, si no milenios, a la acción de los más variados agentes exteriores: la tierra, las piedras que lo han comprimido, aplastado, fragmentado o quebrado; los insidiosos hilillos de agua que lo han empapado, erosionado, más o menos disuelto, cuando no impregnado de sales minerales; las raíces vegetales que han marcado en su superficie huellas profundas y complicadas; los hongos que han perforado en su interior el arabesco de sus túneles; los carnívoros que lo han atacado, luego los insectos (figura 2) y los roedores; tampoco el hombre lo ha respetado sin falta, trátese de contemporáneos dados a la práctica de descarnamiento o, a veces, de los mismos excavadores en acto, preciso es decirlo, no siempre inocente. Sin duda era más fácil acusar a aquel «salvaje» Cro-Magnon de haber asesinado a su compañera con un golpe de hacha en la frente que, tras examen atento, constatar que el «traumatismo» era, evidentemente, de data mucho más reciente.

Sin embargo, nada como los daños *post-mortem* para descarriar el diagnóstico paleopatológico. Vivo aún el sujeto, su esqueleto puede haber experimentado modificaciones por causas que no tienen nada de patológico. Todos sabemos de esas deformaciones deliberadas infligidas al cuerpo humano por influencia de determinadas «culturas». No aludo sólo a los pies de las mujeres chinas, sino a esos cráneos de forma in-

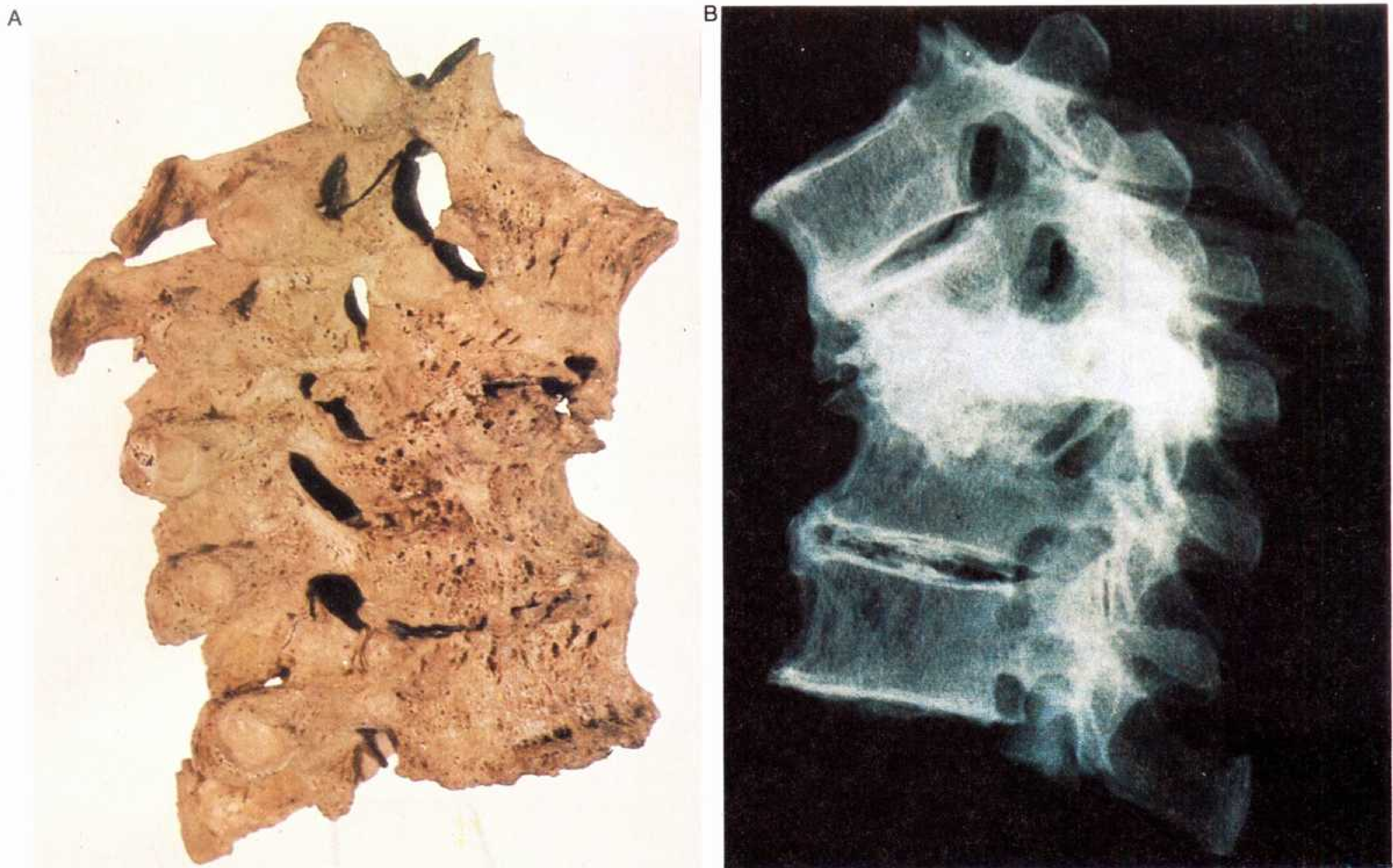


Figura 3. **La tuberculosis vertebral o «mal de Pott» constituye un caso de diagnóstico fácil y seguro. Esta pieza merovingia del cementerio de Saint-Martin en Caen es característica: lesión destructiva de dos vértebras adyacentes, deformación angular del segmento raquídeo afectado** (A). **La curación ha procedido mediante consolidación en un bloque óseo de toda la región enferma, fijándose así la deformación. La radiografía** (B) **confirma la buena calidad de la curación.** (Foto Jean Dastugue.)

tencionalmente alterada ¡y en todas las épocas y partes del globo! Y no es raro que estas modificaciones morfológicas imiten ¡ay la confusión! alteraciones de origen, esas sí, de origen verdaderamente patológico. No ha de extrañar, por tanto, que el patólogo deba perseguir en toda pieza examinada el más mínimo indicio que le permita desvelar la aplicación de un dispositivo deformante.

Viene aquí como anillo al dedo el observar que el paleopatólogo no puede contentarse con poseer tan sólo conocimientos de medicina; debe ser también antropólogo y no le han de sobrar ciertamente los sólidos conocimientos suplementarios de etnología y arqueología que pueda poner en juego, so pena de caer a diario en esas trampas de la pseudopatología que el llorado Calvin Wells tan certeramente llamaba «pitfalls».(2)

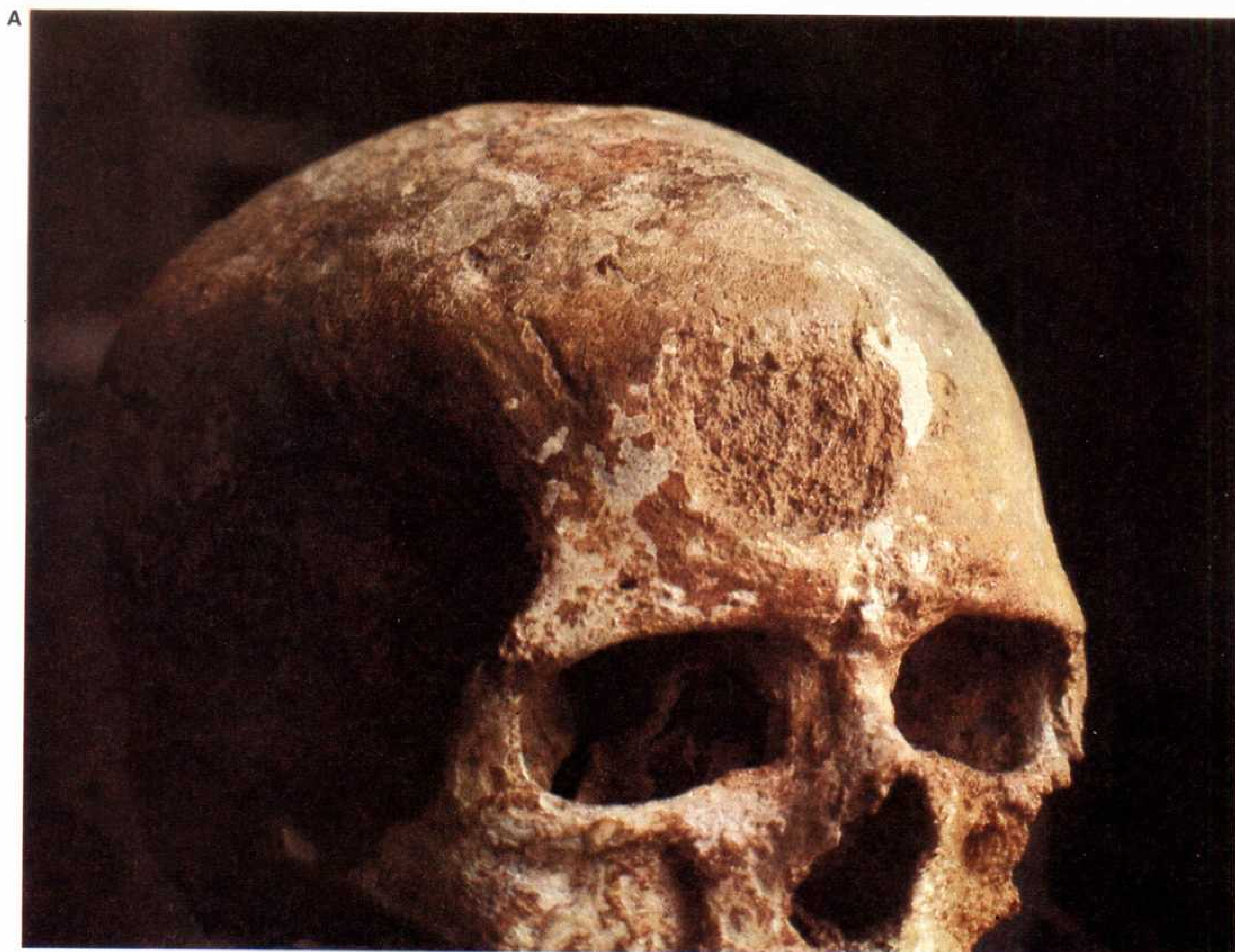
Una dificultad permanente: la variabilidad anatómica. Siendo el objeto de examen a todas luces inerte y, por tanto, sin capacidad de reacción, su exploración es puramente anatómica, de modo que el especialista ha de disponerse a detectar toda posible alteración de forma o de estructura. Pero, quien dice «alteración» implica una referencia a la norma ¡y ahí es donde surge la dificultad mayor! ¿Cómo definir qué es normal? ¿Cómo establecer sus límites? ¿Dónde termina la «variación anatómica» y empieza la anomalía patológica? Problema éste presente también en la medicina corriente, pero cuya resolución depende a menudo de investigaciones anexas: interrogatorio del enfermo, cuantificaciones bioquímicas, análisis serológicos, pruebas funcionales, o sea, de procedimientos inaplicables a la paleopatología, salvo por lo que hace a algunas tentativas de exploración bioquímica o serológica todavía en sus primeros pasos y de porvenir incierto. De hecho, el diagnóstico paleopatológico se basa y seguirá basándose durante mucho tiempo aún en la apreciación de formas y estructuras, sea mediante examen visual directo, en gran medida asistido por la radiografía y la osteometría, sea con ayuda, mucho menor, de la exploración microscópica. Sin embargo, y en toda circunstancia, numerosos casos siguen plagados de un amplio «margen de error», precisamente por causa de la variabilidad patológica de las formas y estructuras. Con todo, desde hace ya muchos años, no pocos anatomistas y antropólogos se han dedicado a despistar y describir estas «variaciones anatómicas» cuyo polimorfismo debe inscribirse dentro de los límites de «lo normal». El tema dista de haberse agotado, y la duda sigue gravitando incluso a la conclusión del examen mejor realizado. Duda que, por otra parte, puede manifestarse en ambos sentidos: dar como normal lo que, simple variación aparente, habría de causar al ser vivo trastornos tales que su naturaleza patológica podría ser afirmada; o bien declarar patológico un aspecto no habitual, una forma desconocida y, por consiguiente, chocante, como ocurrió con respecto al hombre de Neandertal al que, sabido es, grandes personalidades tuvieron por simple muestra de degeneración humana.

Otra dificultad: la monotonía reactiva del hueso. De hecho, el hueso no tiene sino dos únicas maneras de reaccionar a las incitaciones patógenas: se destruye o se reconstruye. Y es preciso que las imágenes determinadas por este doble proceso sean siempre características de las causas que las han producido.

Efectivamente, hay enfermedades que dan lugar a imágenes anatómicas

(2) C. Wells, «Pseudopathology» en D. Brothwell y A.T. Sandison (eds.) *Diseases in Antiquity*, Thomas Springfield, 1967.

A



2. Un diagnóstico paleopatológico: la enfermedad del hombre de Cro-Magnon

B



■ El sujeto n.° 1 del refugio de Cro-Magnon (abusivamente llamado «el viejo») presentaba cierto número de lesiones óseas, cada una de las cuales había sido objeto de interpretaciones particulares:

— el hueso frontal muestra una erosión circular que se había considerado producida por la caída regular de una gota de agua desde el techo de la gruta (A); *pero una gota de agua que cayera de este modo en medio calcáreo no provoca, bien se sabe, destrucción alguna, sino que se erija una estalagmita:*

— el hueso coxal izquierdo presenta en la cresta iliaca un corte de bordes arromados, que había sido atribuido a un golpe de lanza (B); *pero semejante traumatismo, antes de lesionar el hueso habría lacerado profundamente las masas musculares, provocado un grave hematoma y engendrado reacciones de osificación más o menos irregulares, aquí totalmente ausentes;*

— el hueso coxal derecho adolece asimismo de una lesión iliaca que nadie había observado y, por tanto, carente de interpretación (D);

— en la cara interna de uno de los fémures, una depresión redondeada, poco profunda, de bordes romos y fondo regular centrado por un pequeño orificio vascular, había sido atribuida al impacto de una piedra lanzada con una honda (E); *pero mal se comprende un proyectil semejante capaz, a poca velocidad, de deprimir de esta manera la cortical fe-*

moral a través del grueso músculo cuádriceps, o a gran velocidad, de no producir más que una simple concavidad libre de destrozos óseos y musculares que habrían engendrado un voluminoso e irregular osteoma;
— en fin, la mandíbula aparecía parcialmente desdentada (de donde el sobrenombre de «viejo») en su mitad izquierda; las piezas cigomáticas habían caído de resultas de la apertura de los alveolos por un proceso patológico incidente de fuera adentro, mientras se conservaba su mitad profunda (C).
Es evidente que las diversas interpretaciones propuestas para cada una de dichas lesiones precisaba revisión, al objeto de la cual era imperativo *compararlas con miras a determinar si no tendrían algunas características comunes*. Y así se hizo con ocasión del nuevo estudio patológico de los hallazgos,(1) poniéndose entonces de manifiesto que:
— todas las lesiones delataban un ataque sobre el hueso de fuera adentro y ninguna de ellas se acompañaba de reorganización ósea en profundidad;
— la acción del agente patógeno había sido puramente destructiva y que en parte alguna había provocado una reacción constructiva del tejido óseo;
— en fin, entre todas esas lesiones esqueléticas había una particular, la lesión mandibular, que era imposible atribuir a una afección dental trivial, sobre todo en un hombre del Paleolítico, en el que la integridad de las piezas es, como se sabe, la regla.
El problema consistía, pues, en determinar qué afección general podía ser responsable de todas aquellas lesiones cuyos caracteres comunes eran harto típicos. No se trata de pasar revista aquí a todos los elementos considerados en este diagnóstico diferencial. Baste señalar que la eliminación sucesiva de diversas posibilidades patológicas lógicamente orientó el diagnóstico hacia un dictamen de *localizaciones óseas de la actinomicosis*.(2) Sabido es que el hongo *Actinomyces israeli (ex-bovis)*, parásito común de las gramíneas de nuestros campos, infesta a menudo la cavidad bucal humana y es susceptible de provocar graves afectaciones viscerales, así como focos de destrucción ósea que, muy precisamente, presentan las características recién descritas. Además, la localización mandibular, predominante, es absolutamente típica de esta enfermedad parasitaria. ¿Qué tiene de chocante que uno de nuestros antepasados magdalenienses haya tenido también el enojoso hábito de mascar hierbas del campo? En cuanto a decir si su enfermedad conllevó lesiones viscerales que pudieron ser causa de su muerte, tal pretensión traspasaría las fronteras que impone al paleopatólogo el simple respeto a la honradez científica.

(1) J. Dastugue, «Pathologie des hommes fossiles de l'abri de Cro-Magnon», *L'Anthropologie, 71*, 479, 1967.
(2) Procede señalar que, recientemente, el diagnóstico de actinomicosis ha sido contestado en favor del de histocitosis X diseminada.
El autor se basa fundamentalmente en investigaciones radiológicas a las que yo no tuve acceso en 1967 (P.L. Thillaud, «L'histiocytose X au Paléolithique», *L'Anthropologie, 85*, 219, 1981/1982).


C


D


E

perfectamente definidas y reconocibles: el mal de Pott (tuberculosis vertebral) representado en la figura 3 es al respecto un ejemplo indiscutible. Pero no es éste el caso común, y bastará aducir en prueba de ello ese inmenso conjunto de enfermedades osteoarticulares crónicas generalmente conocidas con el nombre lamentablemente impreciso de «reumatismos», de las que todavía se ignora si la monotonía anatómica recubre un origen inflamatorio, degenerativo o aun traumático.

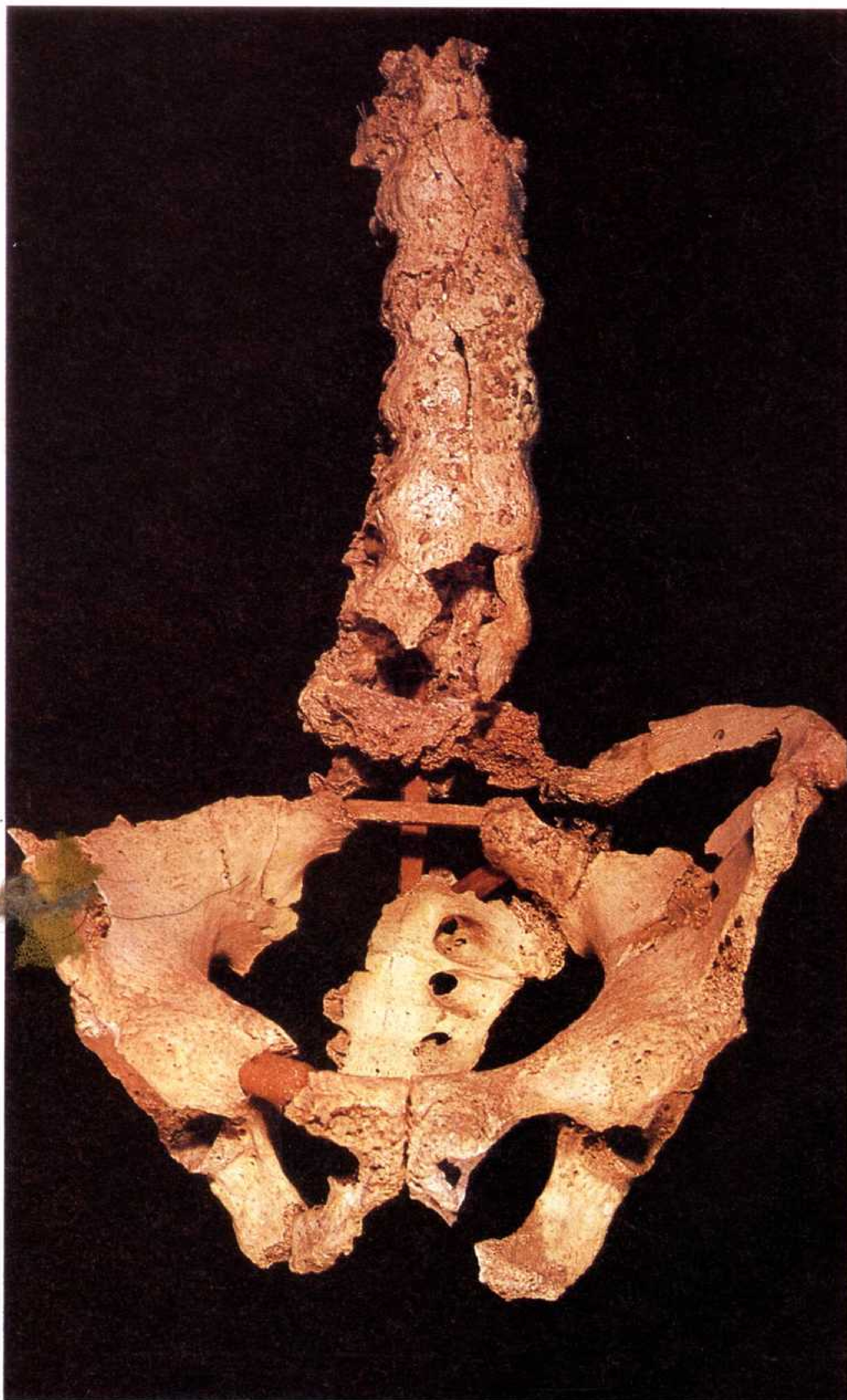
Baste señalar que todas estas dificultades acumuladas obligan al paleopatólogo a no prescindir de nada que pueda ayudarle a superarlas y, en fin, a hacer uso de todos los medios a su alcance. Pero, aun entonces ve su acción obstaculizada por consideraciones que, siendo legítimas, no dejan de ser frustrantes. Por ejemplo ¿cómo radiografiar todas las piezas óseas conservadas en nuestros museos, único método que podría despistar ciertas lesiones intraóseas, en particular las debidas a tumores malignos, cuya frecuencia en las diferentes épocas no puede determinarse estadísticamente en ausencia de dichos datos básicos? Pero, el coste económico de semejante programa exploratorio es, en el estado actual de nuestras posibilidades, absolutamente prohibitivo. ¿Cómo imaginar, por otra parte, que se pueda ampliar el campo de los exámenes microscópicos cuando el necesario muestreo puede resultar más o menos destructivo y la rareza, y aun unicidad de las piezas imponen su conservación en total integridad?

Los resultados

Cabe que a la luz de las dificultades evocadas el lector dude del interés de la paleopatología y se diga que, a fin de cuentas, sus logros habrán de ser harto pobres. Sería un grave error. De hecho, no es sólo en el campo de la patología donde nuestra disciplina ha encontrado preciosos datos para el conocimiento de las poblaciones desaparecidas, tanto así que su exposición exhaustiva aquí resultaría onerosa. De donde, que en lo que sigue me limite a algunos ejemplos cuya elocuencia me parece suficientemente expresiva, ejemplos que serán agrupados bajo tres epígrafes: la continuidad patológica en el tiempo, el papel de la paleopatología en el conocimiento del modo de vida de los antiguos, y la existencia de la práctica médica en tiempos anteriores a la historia escrita.

Continuidad de la patología

Está de moda, desde hace mucho tiempo, hablar de «la evolución de las enfermedades», noción que parece ob-



via. Se antoja evidente, en particular, que algunas afecciones pueden ser llamadas con razón «enfermedades de la civilización», entendiendo que este último término no puede evocar sino *nuestro propio modo de vida* en cuanto tiene de materialmente evolucionado. Ahora bien ¿de qué se trata en realidad? Me propongo aducir tres ejemplos que me parecen típicos.

El primero se refiere a una columna vertebral patológica descubierta hará un decenio con ocasión de las excavaciones realizada en un túmulo neolítico de Normandía (túmulo de la Hoguette, cerca de Fontenay-le-Marmion, Calvados). Aunque incompleta (fig. 4), esta columna aparece modificada de manera suficientemente característica para que se imponga el diagnóstico de *espondilartritis anquilosante.* De hecho, este término de la jerga médica encubre una realidad tan simple como penosa para el afligido: la transformación progresiva de este pilar extraordinariamente flexible que es nuestra columna vertebral en un bloque rígido de un extremo al otro, con adicional anquilosis permanente de las articulaciones de la pelvis y, a menudo, afectación de las caderas. «Hombre de piedra» ha sido la expresión a veces usada para describir al paciente afecto de este mal, de naturaleza inflamatoria, progresión ineluctable y casi inaccesible —aún hoy— a toda terapéutica eficaz. He aquí que nuestro hombre neolítico de Fontenay-le-Marmion era portador de lesiones *de todo punto parecidas* a las que determina esta enfermedad en nuestra época. Y, sin embargo ¡qué diferencia entre las condiciones de vida de este campesino de hace 5 000 años y las de nuestros contemporáneos «civilizados»! En realidad, diríase que a través de todas las vicisitudes ecológicas de estos cincuenta y

Figura 4. **Claro ejemplo de persistencia de una enfermedad a lo largo de cincuenta siglos: esta columna vertebral, hallada en un túmulo neolítico próximo a Caen con data de 5 500 años, presenta una espondilartritis anquilosante que, al igual que en la actualidad, confiere un aspecto de «bambú» a la columna vertebral.** (Foto Jean Dastugue.)



Figura 5. **El dedo gordo del pie del hombre de Chancelade había sido considerado prensil porque su metacarpiano se separaba anormalmente de su vecino. Esta afirmación más bien sorprendente (tratándose de un *Homo sapiens*) ha llevado al autor a examinar de nuevo la pieza y a comprobar que rearticulando correctamente la primer falange nos vemos obligados a colocar el dedo en la posición desviada llamada *hallux valgus*. Esta deformación, sobradamente conocida en nuestra época, se atribuye aún con demasiada frecuencia a la acción del calzado...** (Foto Jean Dastugue.)

cinco siglos el agente causal, de una parte, y el receptor, de la otra, son perfectamente idénticos por lo que hace a sus reacciones recíprocas.

El segundo ejemplo hace referencia a una afección muy común, aunque benigna, que afecta al pie de muchos de nuestros contemporáneos y, sobre todo, contemporáneas: el *hallux valgus* o desviación del dedo gordo del pie hacia fuera, que hace sobresalir internamente a su raíz, algo deformada, en una protuberancia carente de toda gracia y en extremo dolorosa, vulgarmente conocida como «juanete». Ahora bien, nadie duda actualmente que esta deformación sea causada por la acción del calzado, que impone a la parte distal del pie constricciones mecánicas obvias; valga señalar que esta opinión «mecanicista» y aparentemente lógica es en general la que sustenta la clase médica. Sólo... sólo que, en el curso de mis investigaciones paleopatológicas he sentido la curiosidad de estudiar cierto número de esqueletos de pies de tiempos muy remotos, y he tenido la sorpresa de descubrir no pocos casos de *hallux valgus,* de los que sólo expondré tres: uno de un individuo de la época mesolítica (hace aproximadamente 10 000 años) del yacimiento de Afalou-bou-Rhummel, en África del Norte; el segundo (fig. 5) es el pie del célebre hombre de Chancelade, que vivió en la época llamada «Paleolítico superior»; y el tercero proviene del yacimiento palestino de Qafzeh, con data de aproximadamente cuarenta mil años (periodo musteriense). ¿Hemos de pensar, pues, que a lo largo de todos esos milenios el género *Homo* se ha impuesto el uso de calzado susceptible de provocar semejante deformación del dedo gordo del pie? A mi entender, la propia pregunta encierra la respuesta; por tanto, la paleopatología nos enseña que no sólo se nos revela aquí una continuidad nosológica en el tiempo sino, también, que procede revisar, por demasiado simplistas, algunos de los conceptos en torno a la patogenia de esta enfermedad del pie.

En tercer lugar invocaría una enfermedad también tenida por fruto de nuestra época «civilizada»: la *escoliosis.* ¡Qué no se ha dicho ya sobre el papel de las «malas» posturas de nuestros niños, del mobiliario escolar mal adaptado y hasta del tipo de caligrafía impuesto en clase...! Sin duda alguna, la escoliosis, enfermedad de la adolescencia no puede sino ser vinculada a la escolarización de nuestras sociedades modernas. Incontestablemente, esta noción, sumada al mal estado frecuente de los restos vertebrales exhumados, ha prevalecido durante mucho tiempo, ante la indiferencia de los paleopatólogos frente a la existencia o no de desviaciones vertebrales en los pueblos antiguos. Procede subrayar al respecto que es particularmente difícil reconstituir la forma exacta en un sujeto, otrora vivo, de un raquis del que no se poseen más que los elementos óseos aislados. Es una tarea a la que se ha dedicado el laboratorio de Caen, en la persona de una de sus investigadoras, F. Metz, quien ha hecho de ella su tesis doctoral.[3] Sin entrar en detalles técnicos, de mal acomodo aquí, digamos que el procedimiento de reconstitución se basa en la adaptación recíproca de las articulaciones intervertebrales posteriores; poco a poco vemos erigirse así la columna vertebral, con sus curvaturas normales y, también, con sus desviaciones anormales. El resultado fue el esperado: la escoliosis no era en modo alguno extraña a los pueblos antiguos, en ninguna época. Me limitaré a presentar dos ejemplos: uno concierne (fig. 6) a un sujeto exhumado del cementerio medieval Saint-Martial de Limoges, y sus curvaturas patológicas, muy graves, han inducido, como ocurre a menudo en el adulto, lesiones secundarias de espondilosis; el otro, más sorprendente sin duda, por ser mucho más antiguo, hace referencia al raquis masculino de la sepultura mesolítica de Rocheval (de hace aproximadamente 10 000 años), donde la naturaleza de la escoliosis verdadera es confirmada por la rotación de las piezas vertebrales alrededor de su eje vertical. Si, en rigor, se puede argüir que un adolescente de la Edad Media tenía unas condiciones de vida suficientemente parecidas a las nuestras (en el plano vertebral) ¿cómo pretender que ocurriera otro tanto en la época mesolítica? También aquí nos aporta la paleopatología las dos nociones precitadas: la continuidad de la enfermedad en el tiempo y la probable independencia de ésta frente a determinadas condiciones del medio que, durante mucho tiempo, se había creído preponderantes. Séame permitido añadir que el método de reconstrucción vertebral preconizado en Caen es válido para todas las

(3) F. Metz, «Du diagnostic des scolioses en paléopathologie», tesis de Medicina, Caen, 1977.

Figura 6. **La escoliosis ha estado presente en todas las épocas, como atestigua este ejemplo proveniente del cementerio medieval de Saint-Martial, en Limoges. Para poner de manifiesto la continuidad de esta enfermedad en el tiempo ha sido necesario que el laboratorio de Caen haya creado un método para reconstruir la columna vertebral.** (Foto Jean Dastugue.)



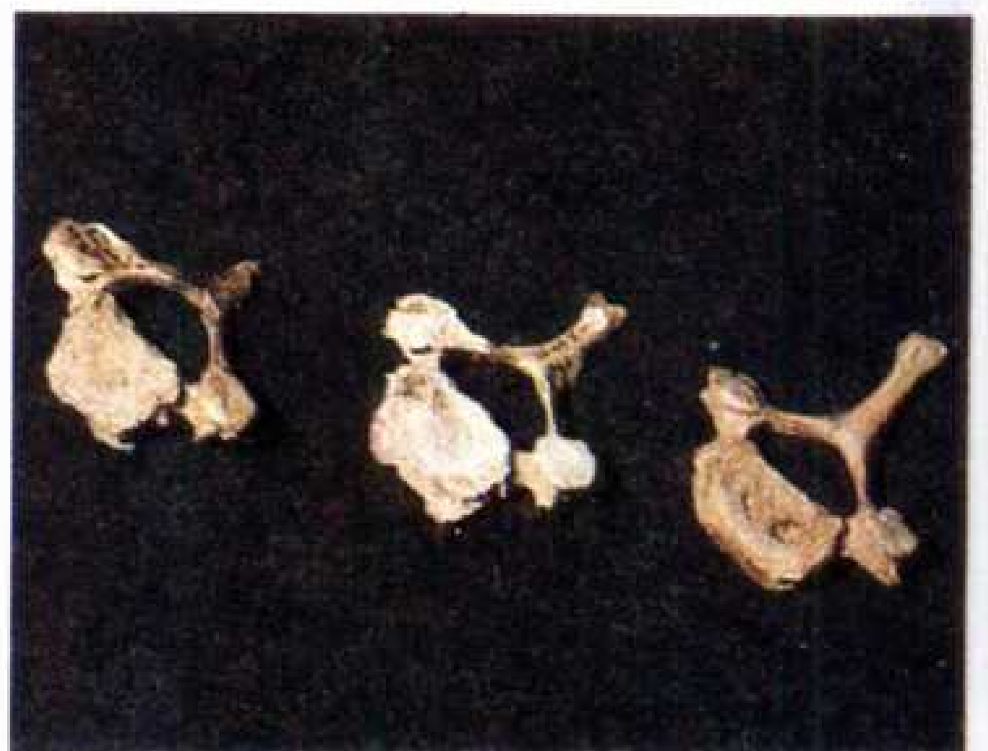


Figura 7. **Las vértebras cervicales del hombre de Neandertal de la Chapelle-aux-Saints presentan grandes lesiones degenerativas propias de la «cervicartrosis», enfermedad muy frecuente en todas las épocas, que no sin cierta ligereza se dice tributaria de la civilización.** (Foto Jean Dastugue.)

El hombre prehistórico era un ser sedentario, y los esguinces más frecuentes que las heridas de guerra.

desviaciones vertebrales y no sólo para la escoliosis, desviación lateral por definición.

El modo de vida: aportación de la paleopatología

No da lugar a pensar que el paleopatólogo albergue la pretensión de suplantar al historiador o al arqueólogo. Las nociones que recoge acerca del modo de vida de los pueblos desaparecidos no son, en realidad, más que simples indicios. Pero su fundamento es concreto, y eso es lo que les da valor. A este respecto, dos órdenes de constatación son, a mi modo de ver, de importancia primera.

La primera serie de hechos concierne a la traumatología. Cuando se busca evaluar, aunque sea groseramente, el lugar que ocupan en la vida del hombre los *grandes traumatismos* en las diferentes épocas, una evidencia se pone con toda rapidez: cuanto más nos remontamos en el tiempo, menos damos en los esqueletos humanos con los estigmas de grandes descalabros traumáticos consiguientes a las heridas que pueden infligirse mutuamente los protagonistas de enfrentamientos guerreros. En cuanto se abordan los periodos prehistóricos anteriores a la Edad de los metales es difícil encontrar las secuelas de fracturas de cráneo o de los grandes huesos largos de las extremidades (muslo, pierna, brazo). Este hecho da fe, a mi juicio, de un modo de vida infinitamente más apacible y menos expuesto de lo que se acostumbra imaginar. No solamente debían desconocer nuestros antepasados prehistóricos este enfrentamiento colectivo llamado guerra, sino que es muy probable que no tuvieran nada que ver con la imagen que a menudo nos representamos de ellos: «salvajes» que vivían en la agitación incesante de la caza, en medio de perpertuos peligros y de constantes rivalidades. Y, que quede bien entendido, este salvajismo había de ser tanto más marcado cuanto más nos remontásemos a los orígenes. ¿Acaso no es «brutal» el rostro de neandertales y pitecántropos? A esta imagen clásica de nuestros antepasados remotos el paleopatólogo sólo puede responder ingenuamente declarando su impotencia para encontrar las pruebas o señales al efecto en los esqueletos examinados. Recuerdo, a título de ejemplo, el caso de la mujer del refugio Cro-Magnon anteriormente citado, que no fue en modo alguno víctima de un compañero brutal y sanguinario, como se había creído en vista de una lesión craneal mal interpretada.

Se producían heridas, cierto, en particular por armas arrojadizas. Se conocen por varias puntas de flecha fijadas en el hueso, la más célebre de las cuales fue hallada y descrita por H.V. Vallois[4] en un esqueleto mesolítico de Téviec, en estudio en el que el autor reconstruye lúcidamente la trayectoria del arma y demuestra que la flecha, atreavesando la aorta, pudo ser causa de una muerte fulminante. Pero estos ejemplos son, con todo, poco numerosos; y puede que algunos den tan sólo testimonio de simples heridas accidentales.

Por contra, cuando el paleopatólogo, libre de toda idea preconcebida, acepta estudiar lo que uno de nuestros investigadores llama «traumatismos menores» (J.F. Klein),[5] es decir, las luxaciones traumáticas, los esguinces o los hematomas, se observa que son muchos los esqueletos prehistóricos que muestran sus secuelas. Esta circunstancia parece indicar una predominancia de los accidentes «domésticos» que cuadra infinitamente mejor al modo de vida pacífico y apacible que debía ser el propio de aquellas poblaciones prehistóricas poco numerosas y dispersas.

Pero se puede ir más lejos y, entonces, no es la traumatología la que nos aporta el conocimiento esencial, sino el estudio de las enfermedades degenerativas. Efectivamente, la esperanza de vida en los tiempos prehistóricos no era tanta que nuestros antepasados tuvieran tiempo de desarrollar todas las formas de artrosis que conocemos en la actualidad. En cambio, las enfermedades degenerativas vertebrales, aquellas que aproximativamente podemos agrupar bajo el término general de *espondilosis,* aparecen en el hombre desde hace muchísimo tiempo. Así, se encuentran en adultos jóvenes de ambos sexos y con una frecuencia impresionante: entre los hombres del Neolítico de La Chaussée Tirancourt F. Guillon[6] ha descubierto 109 vértebras espondilósicas en 302 individuos; yo mismo he dado con 32 en 86 sujetos exhumados de la necrópolis mesolítica de Taforalt.[7] Cabe añadir que la forma cervical, la *cervicartrosis,* considerada con demasiada frecuencia como enfermedad «moderna», ya se manifiesta en el hombre de La Chapelle-aux-Saints, uno de los especímenes de Neandertal más conocidos (fig. 7).

¿A qué atribuir, pues, esta frecuencia de la degeneración cervical sino a un verdadero «sedentarismo»? Lejos de ser ese deportista que gustamos de imaginar, el hombre prehistórico ha debido ser, en su gran mayoría, un ser sedentario (etimológicamente: sentado) que pasaba largas horas en su refugio o choza, ocupado en trabajos «domésticos» en particular, en tallar la piedra. Es notable, además, que los datos de la prehistoria moderna confirmen esta imagen, que resulta tanto más patente gracias al admirable análisis del yacimiento magdaleniense de Pincevent, donde A. Leroi-Gourhan[68] muestra perfectamente la organización de las actividades domésticas alrededor de «bloques de asentamiento».

Entiéndase que estas constataciones no son más que una aportación de la paleopatología al conocimiento de los modos de vida de los antiguos; con todo, por parcial que pueda parecer su incidencia, habría de bastar para justificar con creces nuestra labor de investigación.

Conocimiento de las prácticas médicas antiguas

De nuevo es evidente que el paleopatólogo no pretende sustituir al respecto los datos extraídos de los textos históricos con sus observaciones *in situ.* Sin embargo, el campo de su estudio es inmenso, puesto que se extiende a todo ese periodo «pregráfico» del que carecemos de toda referencia escrita y que, con mucho, representa el más dilatado de toda la evolución humana. Admitámoslo de entrada: los datos son escasos y, aunque ciertamente bien establecidos y con valor de certidumbre, otros no pasan de indicios que es necesario tratar con prudencia. He aquí los puntos que al respecto me parecen más interesantes.

En primer lugar, y a modo de transición desde lo que antecede, citaría «la asistencia a los heridos». Traeremos a colación un solo caso, pero típico: he aquí que hace unos 9 000 años, en África del Norte, en el asentamiento de Columnata, una joven fue víctima de un grave accidente; caída desde un lugar elevado o aprisionada por un derrumbamiento sufrió una fractura de pelvis tan grave que los huesos coxales resultaron violentamente desplazados expulsando a una de las cabezas femorales fuera de su alojamiento articular, y que el sacro, comprimido verticalmente, había quedado reducido a una altura de cuatro centímetros. Evidentemente, tales lesiones habrían tenido por consecuencia una incapacidad total de ambas extremidades inferiores, condenando a la pobre accidentada a yacer permanentemente, impotente para subvenir por sí misma a sus necesidades más elementales. Ahora bien, la mujer sobrevivió, puesto que *todas sus fracturas aparecen consolidadas,* lo cual supone un plazo de tres meses. La conclusión es obvia: su supervivencia implica ogligatoriamente el haber sido objeto de asistencia y cuidado por parte de los suyos, cuidados atentos, constantes y eficaces. No se trata aún, si se quiere, de medicina; pero sí, sin lugar a dudas, de algo más que de simple asistencia alimentaria.

(4) H.V. Vallois, «Anthropologie», en M. y S.J. Pequart, M. Boule y H.V. Vallois, *Téviec, station nécropole mésolithique du Morbihan,* Arch. Inst. Paléont. Hum., Mém. 18, Masson, 1937.
(5) J.F. Klein, *Les traumatismes mineurs en paléopathologie,* Comm. 3rd European Meeting, Paleopatholog. Association, Caen, 1980.
(6) F. Guillon, «Pathologie du squelette post-crânien à La Chaussée Tirancourt», tesis de Medicina, París, 1977.
(7) J. Dastugue, «Pathologie des hommes de Taforalt», en *La nécropole épipaléolithique de Taforalt,* CNRS, Misión universitaria y cultural francesa a Marruecos, 1962.
(8) A. Leroi-Gourhan, M. Brezillon, «L'habitation magdalénienne n.° 1 de Pincevent, près Montereau», *Gallia-Préhistoire, XI,* 262, 1966.

El segundo caso hace referencia al nacimiento de la *cirugía* durante los tiempos prehistóricos. Dejando aparte algunos casos de amputaciones, tema aún de discusión, me propongo recordar aquí brevemente algunos hechos —sobradamente conocidos— relativos a la *cirugía craneal*. Puede decirse, en suma, que la trepanación del cráneo ha hecho aparición antes incluso del periodo neolítico (yo he revelado un caso auténtico entre los mesolíticos de Taforalt),[7] durante el cual se desarrolló hasta el punto de extenderse por el mundo entero. Numerosos autores se han interesado por el hecho y, así, parece que ya se haya dicho todo acerca de esta práctica ancestral: técnicas empleadas; seguridad, confirmada por los repetidos casos de supervivencia; eficacia probable, ya que el método ha durado. Sería fatuo volver sobre este tema, sobre todo en el marco de esta somera exposición. Sin embargo, no me parece superfluo proceder con dos observaciones. En primer lugar, no cabe duda alguna de que la práctica de tal cirugía supone entre los pueblos prehistóricos la existencia de lazos sociales ya muy elaborados. No es grano de anís que un hombre acepte dejarse abrir el cráneo por otro; por parte del primero ello supone una evidente medida de confianza; del segundo, el dominio de sí mismo; y entre ambos, el establecimiento de este «diálogo singular» sobre el que, aún hoy, se basa la relación médico-paciente. La segunda observación, de orden totalmente distinto, estriba en una serie de apreciaciones personales, de las que me limitaré a ofrecer un ejemplo: un hombre del yacimiento neolítico del valle de Petit Morin (gruta «de Baye») sufrió en su día una fractura del hueso frontal y fue trepanado por el práctico local. El resultado no fue bueno, pues si la zona trepanada se había ciertamente consolidado, el paciente había muerto sin duda antes de la curación completa de su fractura. Ahora bien, después del óbito, el cráneo fue abierto mediante aserrado de su parte superior, de igual modo que se hace en la actualidad con miras a las exploraciones anatómicas. No cabe duda de que, decepcionado por el resultado de su intervención, el «cirujano» neolítico había tratado de averiguar, de «ver» qué podía haber ocurrido en el interior de aquella caja craneana. ¿Acaso no tenemos derecho, entonces, de preguntarnos qué significa semejante iniciativa sino el testimonio, por parte de su autor, de un verdadero «espíritu científico»? Y a quien se asombre ante ese acto de los «salvajes» del Neolítico responderé que eran contemporáneos de aquellos que, según el astrónomo Thom, habían sabido edificar tan bien, con ayuda de monolitos, observatorios tan eficaces como el de Carnac.

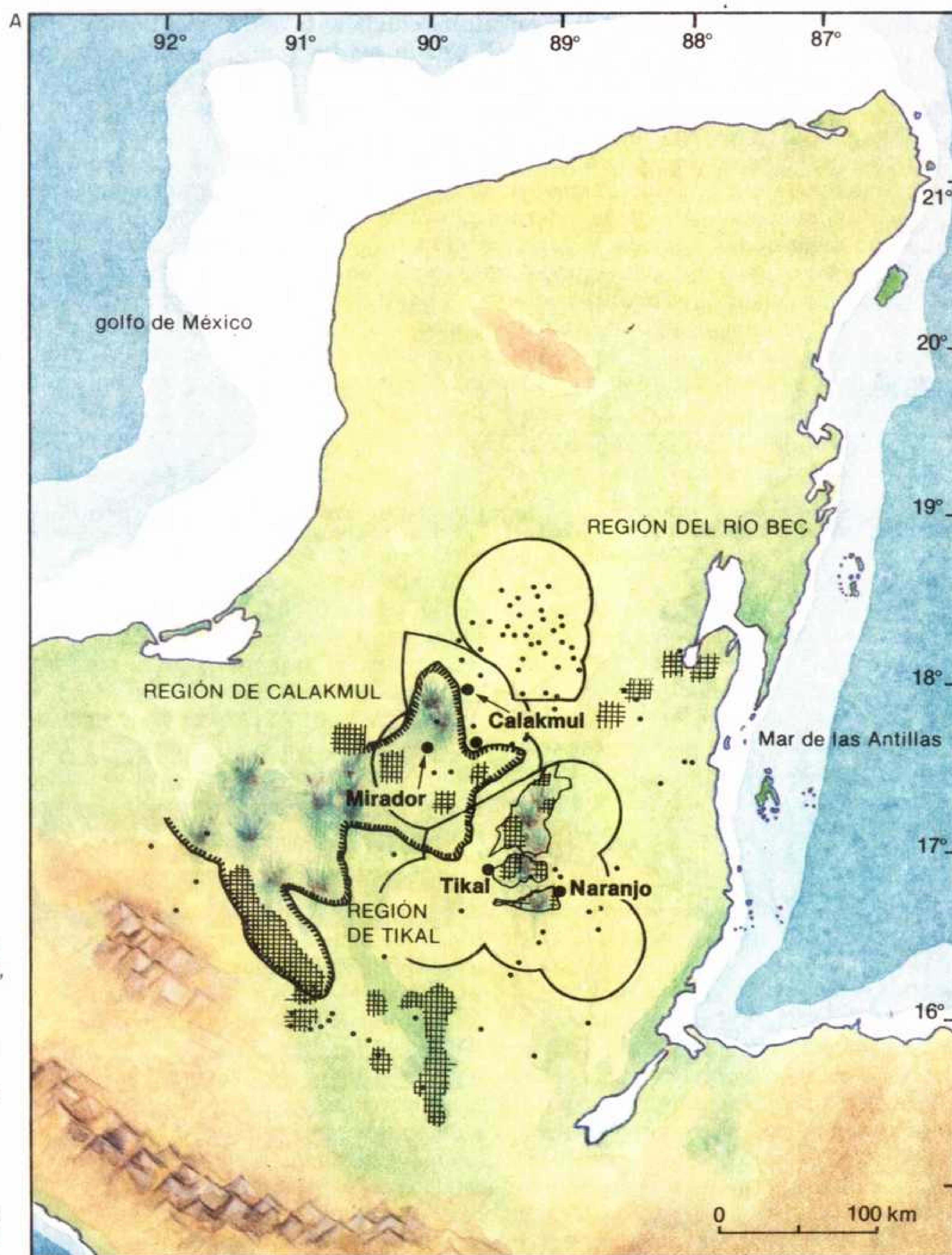
Para finalizar esta exposición —demasiado breve, bien lo sé, para agotar el tema— me parece inútil volver de nuevo sobre aquellos puntos que justifican el interés de la investigación paleopatológica. Me limitaré, pues, a concluir con una sencilla observación adicional: *el paleopatólogo trabaja con piezas.* En este sentido, su actividad es análoga a la del arqueólogo y, también por esto, se distingue del historiador que trabaja sobre textos escritos. Y no es uno de los menores méritos de nuestra disciplina el que pueda —al igual que hace el arqueólogo— establecer hechos concretos, al margen de toda exégesis y de toda interpretación, para aportar así al conocimiento de las poblaciones antiguas sólidos materiales, susceptibles de consolidar —y a veces también de reformar— los conocimientos tradicionalmente adquiridos. ■

Para alimentar a una población muy importante, los mayas tuvieron que practicar una agricultura intensiva basada en regadíos.



Los canales Mayas

La civilización maya, centrada en Yucatán, Guatemala y Belize, o sea, en unos 250 000 km², nos ha dejado los vestigios de más de 300 grandes ciudades. Tikal, la más conocida, contaba con 50 000 a 80 000 habitantes, además de una importante población rural. Tal densidad urbana, sobre todo efectiva en las tierras bajas, junto a los grandes pantanos, implica no sólo una numerosa población, sino también recursos alimentarios suficientes. Ahora bien, hasta hace pocos años, nuestros conocimientos nos hablaban de una población diseminada que practicaba una agricultura itinerante sobre tierra quemada.



Las grandes ciudades mayas estaban construidas cerca de los pantanos de las tierras bajas. Las principales aparecen representadas en en mapa (A) por puntos y formaban regiones políticas cuyos contornos se representan por medio de un trazo continuo. La población de estas ciudades subsistía gracias a una agricultura intensiva basada en sistemas de drenaje y de canales (zonas cuadriculadas). Fue durante una prospección radar cuando se descubrieron estas estructuras, manifiestas como motivos entrecruzados (B) que, sobre el terreno, corresponden a canales. (Foto R.E. Adams.)

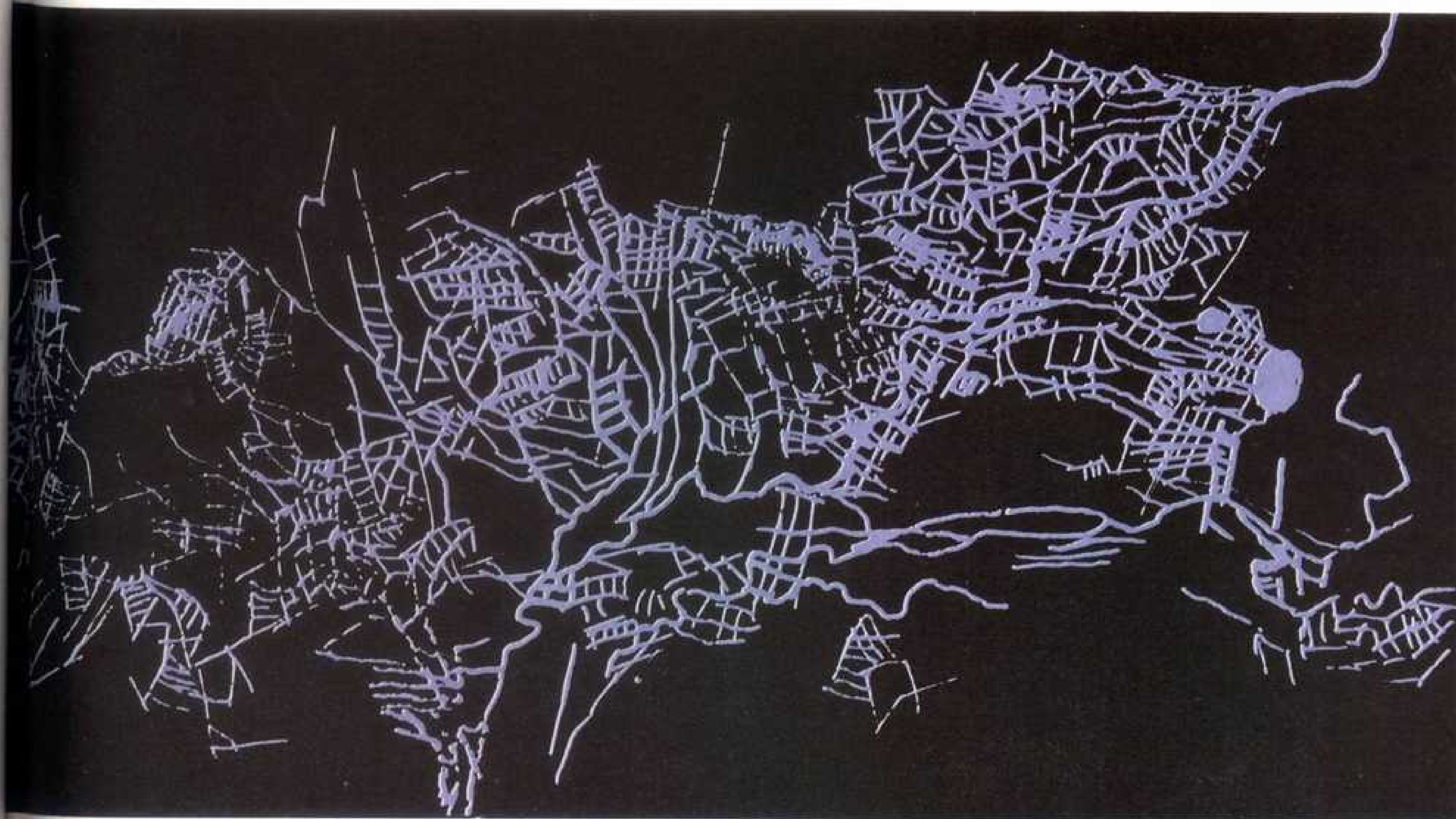
Una contradicción, señalada a partir de 1970, cuando se multiplicaron los nuevos datos referentes a la presencia de canales y de un sistema de riego de los campos y de las terrazas. Por ejemplo, B.L. Turner había observado en 1973, con ocasión de sobrevolar un pantano de Quintana Roo (México), unas estructuras que parecían corresponder a antiguos canales.[1] En 1980, una excavación le permitió poner al descubierto un vasto sistema de campos y fosos. Pero estos indicios de agricultura intensiva habían sido refutados por muchos y considerados como hechos localizados que no podían poner en entredicho la hipótesis de una población escasa que practicaba una agricultura extensiva.

Estas interpretaciones divergentes se deben en particular a la dificultad de las prospecciones en la selva tropical. Sin embargo la utilización de radares aéreos ha permitido cartografiar la totalidad del territorio maya, mostrándose así la existencia de campos y de canales en las zonas pantanosas del Centro y del Sur, donde habían sido edificadas las urbes mayas más importantes.[2] Las ciudades construidas al borde de los pantanos eran, en efecto, de dos a tres veces más importantes que las de las orillas de los ríos. La prospección con radar tuvo como resultado explicar esta localización sorprendente, que yo había comprobado en el curso de un trabajo de tipología basado en el volumen arquitectural de las ciudades.[3]

Un radar para Venus

En 1977, 1978 y 1980, T. Patrick Culbert (universidad de Arizona), W.E. Brown Jr., del Jet Propulsion Laboratory, y yo mismo probamos un nuevo sistema de prospección por radar, concebido para penetrar las nubes de vapor del planeta Venus. La penetración de la capa forestal por el radar es débil, pero suficiente para detectar las menores diferencias de elevación de la vegetación y, por consiguiente, las estructuras antiguas. Así se efectuaron vuelos experimentales en el Norte de Guatemala y Belize, sobre unos 32 000 km² aproximadamente de tierras bajas. Cuando vi por primera vez los resultados de estos vuelos, impresos sobre películas continuas destinadas a ser leídas sobre tableros con iluminación subyacente, mi contrariedad fue tanto mayor cuanto que esperaba descubrir así nuevos vestigios. Ahora bien, a lo sumo podía detectar estaciones arqueológicas conocidas, como Tikal, que servía de estación de control. Después el azar y un nuevo examen revelaron una miríada de pequeñas líneas grises que formaban una especie de cuadrículas concentra-

(1) B.L. Turner II, «Prehistoric intensive agriculture in the Maya lowlands». *Science, 185,* 118, 1974.
(2) R.E.W. Adams, W.E. Brown Jr., T.P. Culbert, Radar mapping, archeology and ancient Maya land use», *Science, 213,* 1457, 1981; R.E.W. Adams, «Swamps, canals and the locations of ancient Maya cities», *Antiquity, 54, 206,* 1980.
(3) R.E.W. Adams, Richard C. Jones, *«Spatial patterns and regional growth among classic Maya cities», American Antiquity, 46,* 301, 1981.



das esencialmente en los pantanos (figura). Cuando comparé estas estructuras con las que aparecen en fotografías aéreas e identificadas como canales, inmediatamente comprendí el interés de este descubrimiento. Sobre el terreno, las excavaciones, realizadas por B.L. Turner y Peter D. Harrison, en 1980 y 1981, permitieron confirmar que las tramas grises indicaban el emplazamiento de antiguos canales y una división de campos. Nos hallábamos, pues, en presencia de un sistema de cultivo intensivo cuyos niveles más antiguos excavados datan de aproximadamente 250 años antes de nuestra era, donde la mayoría de las estructuras parece haber perdurado hasta alrededor del año 900 después de J.C., poco antes del colapso de la civilización maya.[4]

Una civilización a merced de un cambio climático

La prospección radar abre interesantes y nuevas perspectivas por lo que respecta a las prácticas agrícolas mayas. En el transcurso de los siglos, de 1 250 a 2 500 km^2 fueron ocupados por drenajes, canales de riego y campos. Podemos estimar la importancia de la población por analogía con el sistema azteca y los experimentos realizados en las tierras bajas de Veracruz. Un grupo de 18 a 25 personas puede vivir indefinidamente de la producción agrícola obtenida con este sistema, altamente productivo todo el año.[5] Siendo muy extensos los sistemas mayas, debían presentar cierta variabilidad en su productividad y su funcionamiento, pero, incluso si se tiene en cuenta este factor, las implicaciones no son menos importantes. Pues estos resultados, que permiten explicar la localización de las ciudades mayas, podrían asimismo revelar la causa del hundimiento de esta civilización. Los pantanos debían ser las zonas más productivas de las tierras bajas y las grandes ciudades habían sido construidas en las proximidades de este enorme potencial agrícola. Muy dependientes de su producción, los mayas estaban a merced del cambio climático repentino que se produjo en esa época y que acabamos de poner de manifiesto muy recientemente.[6] El aumento de la temperatura provocó una sequía cuyos efectos arruinaron la economía de la región.

Pero aún quedan muchas cosas por aprender sobre la agricultura maya. La historia de cada zona agrícola debe reconstruirse pacientemente. Harrison y Turner comprobaron que el maíz y la alubia eran las principales producciones de la región. Pero ¿puede afirmarse lo mismo de otras regiones? No es seguro, y habría que estudiar la naturaleza de los silos y el régimen hidrográfico de cada una de ellas. Annabel Ford ha estudiado los terrenos del Peten Central (Guatemala), demasiado ácidos, según ella, para permitir una explotación agrícola rentable. Así, el problema fundamental por resolver es comprender con qué medios pudieron los mayas modificar ese suelo para hacerlo productivo. Y, quién sabe, las técnicas agrícolas de los mayas podrían revelarse de gran utilidad si se llegase a aplicarlas a las regiones modernas de México y de Guatemala.

Richard E.W. Adams.

(4) B.L. Turner II, P.D. Harrison, «Prehistoric raised-field agriculture in the Maya lowlands», *Science, 213,* 399, 1981.
(5) P. Armillas, «Gardens on swamps», *Science, 164,* 653, 1971.
(6) J. Gunn, R.E.W. Adams, «Climatic change, culture and civilization in North America», *World Archaeology, 13,* 87, 1981.

La cerda que desentierra una trufa reconoce en ella el olor atractivo del verraco.



La trufa, un afrodisiaco

■ «Quien dice trufa pronuncia una gran palabra, que despierta recuerdos eróticos y golosos en el sexo que lleva faldas y recuerdos golosos y eróticos en el sexo que lleva barba», Brillant-Savarin, *La physiologie du goût,* 1826. Con su aroma sutil, la trufa ha suscitado en todas las épocas el interés de los gastrónomos; ya los romanos la consideraban un manjar muy delicado, digno de los mejores festines. Pero ha sido muy recientemente cuando unos investigadores alemanes han descubierto por qué nuestro olfato es específicamente estimulado por el perfume de este hongo. La trufa contiene, entre otras sustancias odoríferas, un alcohol volátil de olor almizcleño, afín a la testosterona, el 5α-16-androstén-3α-ol, que podría muy bien ser una feromona sexual humana o, si se prefiere, un mensajero químico con efecto estimulante

Una feromona del cerdo en la trufa

Esta molécula sin actividad hormonal (esteroide no andrógeno) tiene la particularidad de hallarse presente tanto en la trufa como en la orina y en el sudor humanos y... en diversas secreciones del cerdo macho no castrado, el verraco. Como es sabido, en la larga historia de las relaciones entre la trufa y el hombre interviene un tercer término necesario, el cerdo. Aunque gran aficionado, el ser humano es en efecto incapaz de localizar con exactitud el emplazamiento subterráneo de la trufa madura. Debe recurrir, pues, a un animal de olfato muy sensible.

Hoy se emplean perros adiestrados pero, tradicionalmente, en las regiones productoras —Périgord, Piamonte, por ejemplo— las trufas se desenterraban con la ayuda de cerdos o, más bien, de cerdas, capaces de detectar la presencia de estos hongos a un metro de profundidad. Pero su impetuosidad al cavar el suelo bajo las encinas truferas provoca a veces el deterioro de la red de raíces y filamentos que forman el micelio. Estos animales parecen incapaces de resistirse al olor de la trufa, rasgo de comportamiento que ha sido un enigma durante mucho tiempo.

El misterio ha sido aclarado por los trabajos publicados recientemente por tres investigadores alemanes: R. Claus y H.O. Hoppen, fisiólogos en la universidad técnica de Munich, y H. Karg, bioquímico en la Facultad de medicina de Lübeck.[1] Ahora se sabe que la cerda que desentierra ávidamente una trufa reacciona a su aroma con un comportamiento de carácter sexual: reconoce en el olor del hongo el olor exhalado por el verraco adulto, o por lo menos, como veremos, uno de los elementos de este olor (figura).

Exhalado es ciertamente la palabra exacta; ya que la saliva del verraco, y por consiguiente, su aliento, contienen en periodo precopulativo una mezcla de tres esteroides no andrógenos, con 19 átomos de carbono y un doble enlace en C_{16}.[2] Dos de estos esteroides son alcoholes: 5α-16-androstén-3α-ol y 5α-16-androstén-3β-ol; el tercero es una cetona: la 5α-16-androstén-3-ona. Siguiendo el ejemplo de uno de los especialistas del estudio de estos compuestos, D.B. Gower,[3] designaremos respectivamente estos tres esteroides como: an-α, an-β y 5α-androstenona.

El primero de ellos, an-α, es el que R. Claus, H.O. Hoppen y H. Karg han puesto de manifiesto en la trufa. Mediante cromatografía gaseosa y espectrografía de masa han determinado su concentración en la trufa fresca y en conserva: de aproximadamente 50 a 60 nanogramos por gramo, en el primer caso y de 25 ng/g en el segundo.

En sí mismo, el descubrimiento de la an-α en la trufa sólo tendría un interés menor, ya que la presencia de esteroides en los vegetales no es excepcional; fue señalada por primera vez hace unos cincuenta años, cuando varios autores, entre ellos A. Butenandt y H. Jakobi, detectaron unas sustancias afines a la foliculina en la nuez de coco, las nueces de palma, el cacahuete, la soja, el altramuz, etc.[4]

Pero la existencia de la an-α en un hongo coloca bajo otra luz el viejo problema de las plantas llamadas afrodisiacas y el problema más nuevo de las feromonas en los mamíferos superiores y en el hombre.

Para comprender el alcance de las investigaciones recientes sobre los esteroides con 19 átomos de carbono y doble enlace en C_{16}, resumamos rápidamente la cronología de los descubrimientos referentes a estas sustancias. En 1944, eran aisladas la an-α, la an-β y la 5α-androstenona del testículo del cerdo.[5] Algunos años más tarde, estos tres componentes eran identificados en las glándulas salivales del verraco adulto[2] y después en la vena espermática del cerdo, donde su concentración es del orden del nanogramo por ml.[6]

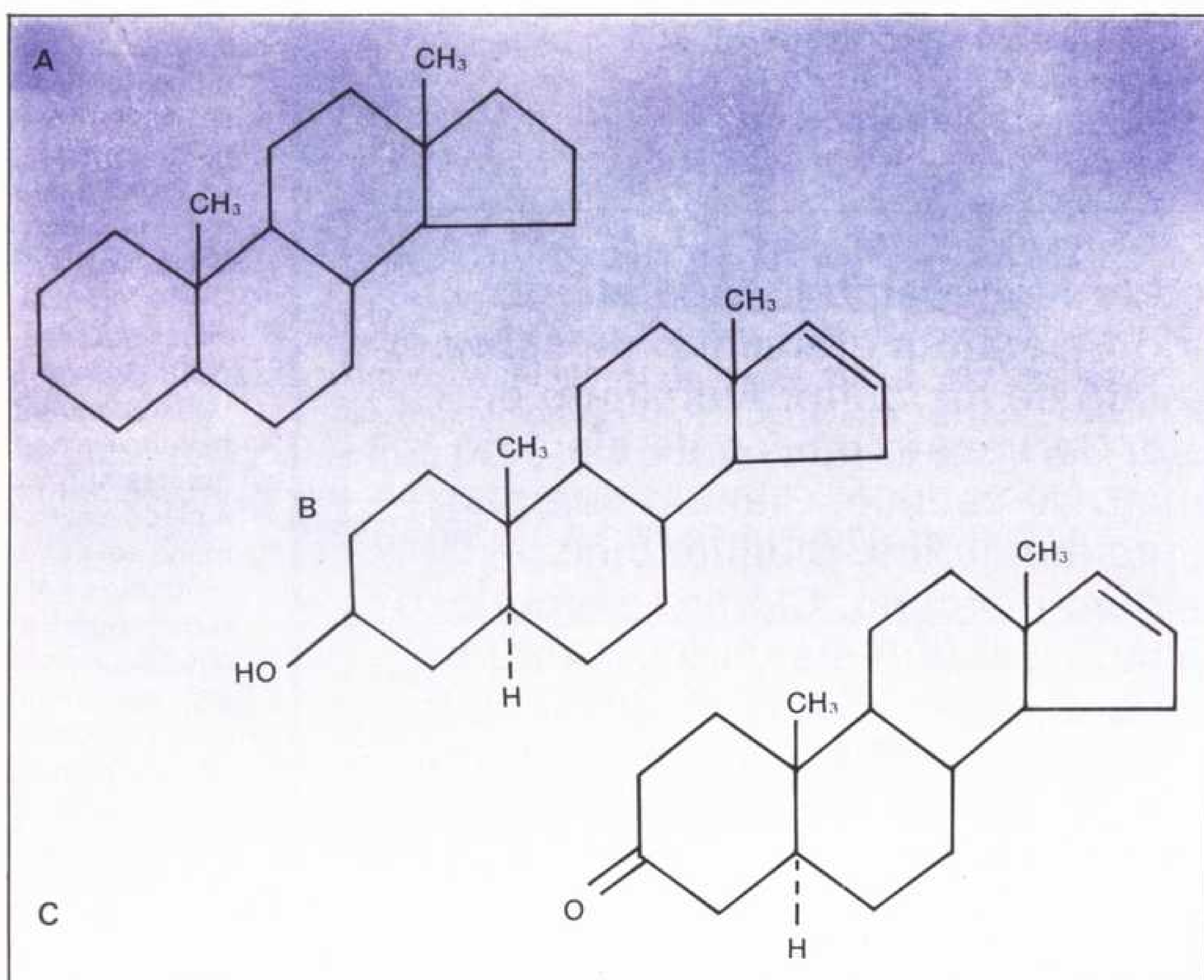
La 5α-androstenona, sintetizada en el testículo, se acumula en el parénquima graso, dando a la carne del cerdo no castrado un intenso olor característico de orina y de almizcle. Este olor, como demostraron en 1961 J.P. Signoret y F. du Mesnil du Buisson (INRA)[7] es necesario para provocar las actitudes de copulación en la cerda en celo (estro). En la práctica, la reacción al olor del verraco se utiliza para volver dóciles a las hembras y aprovechar al máximo su corto periodo de estro para la práctica de la inseminación artificial.

¿Un lazo con la sexualidad humana?

En la especie porcina, la an-α, la an-β y la 5α-androstenona son, sin la menor duda posible, feromonas sexuales. La única otra especie de mamíferos en la cual estas sustancias hayan sido puestas hasta ahora de manifiesto es la humana. Estos tres esteroides fueron aislados de la orina humana en 1950.[8] Después, la 5α-androstenona fue identificada en el hombre, en el sudor segre-

(1) R. Claus, H.O. Hoppen, H. Karg, *Experientia, 37,* 1178, 1981; T.H. Maugh, *Science, 215,* 1224, 1982.
(2) R.I.S. Patterson, *J. Sci. Food Agricult., 19,* 434, 1968.
(3) D.B. Gower, *Journal of steroid biochemistry, 3,* 45, 1972.
(4) A. Butenandt, H. Jakobi, *Hoppe Seylers Zeitschrift, 218,* 104, 1933.
(5) V. Prelog, L. Ruricka, *Helv. Chem. Acta, 27,* 61, 1944.
(6) D.B. Gower, F.A. Harrison, R.B. Heap, *J. Endocrin., 47,* 357, 1970.
(7) J.P. Signoret, F. du Mesnil du Buisson, *Proc. 4th Intern. Congr. Anim. Reprod., (La Haya) Physiol. act. p. 401,* 1961.
(8) B.L. Brooksbank, G.A. Haslewood, *Biochem. J., 47,* 36, 1950.





La cerda que desentierra una trufa reacciona a su aroma con un comportamiento de carácter sexual: reconoce en el olor del hongo el exhalado por el verraco adulto, o más exactamente uno de los elementos de este olor. En periodo precopulativo, la saliva del verraco contiene una mezcla de moléculas que pertenecen al grupo de esteroides no andrógenos de 19 átomos de carbono y un doble enlace en C_{16}, derivados del androstano (A). **Solamente tres de estas sustancias desempeñan el papel de feromonas sexuales en el cerdo:** (B) **an-α(5α-16-androsteno-3α-ol, alcohol volátil de olor almizcleño), an-β y** (C) **5α-androstenona (cetona volátil de olor de orina). Es el primero de ellos, an-α, el encontrado en la trufa. Cabe que se trate asimismo de una feromona sexual humana, lo cual explicaría que nuestro olfato sea específicamente sensible al perfume de este hongo.** (Fotos: Goursat, izquierda; M. Viard-Jacana, derecha.)

gado por las axilas. Finalmente, hoy se sabe que las tres sustancias son sintetizadas en el testículo humano y migran hacia las glándulas sudoríparas axilares, donde son segregadas con el sudor.[9]

¿Representan estas sustancias el papel de feromonas sexuales humanas? Cabe dudarlo con respecto a la 5α-androstenona, que es considerada por muchas mujeres como de olor particularmente desagradable, siendo en su gran mayoría muy sensibles a ella y detectándola en concentración muy escasa (del orden de la millonésima), mientras que muchos hombres se revelan insensibles. En un experimento de respuesta olfativa a la 5α-androstenona se ha encontrado que 44,3 % de los individuos masculinos eran completamente insensibles al olor de este compuesto, mientras que 7,6 % solamente de los individuos femeninos no reaccionaban a ella.[10]

¿Qué sucede con la an-α? Es posible que, al contrario que la 5α-androstenona, se trate de una verdadera feromona sexual. No se tiene aún la prueba absoluta de ello, pero hay dos clases de hechos que apoyan tal supuesto.

El primero es de orden etnológico: se ha observado desde hace mucho tiempo que con ocasión de algunas danzas folklóricas de países mediterráneos, los danzantes estimulan el ímpetu de sus compañeras por un proceder que había intrigado a los observadores. Cuando el calor de la danza les hace transpirar, se colocan debajo de la axila durante algunos minutos un pañuelo de algodón y, una vez impregnado éste de sudor, lo agitan bajo la nariz de sus compañeras de baile.[11]

El segundo hecho corresponde a un experimento realizado en 1978 en el departamento de psicología de la universidad de Birmingham por el equipo de Michael Kirk-Smith.[12] Para determinar si la an-α es o no una feromona sexual, se hacía respirar vapores de an-α a unos voluntarios, femeninos y masculinos, presentándoles imágenes de mujeres (no desnudas, precisa el artículo). Se pedía a continuación a los sujetos del experimento que diesen una «nota de belleza» a cada una de las mujeres representadas en las fotografías. Con relación a un grupo de individuos testigos, las notas atribuidas por los que habían sido expuestos a la an-α eran siempre más elevadas y en medida significativa.

El misterio de las plantas «afrodisiacas»

Si la existencia de feromonas sexuales humanas era previsible, puesto que se ha demostrado su presencia en

(9) R. Claus, W. Alsing, *J. Endocrinol.*, *68*, 483, 1976.
(10) N.M. Griffith, R.L.S. Patterson, *J. Sci. Food Agricult.*, *21*, 4, 1970.
(11) I. Eibl-Elberfeldt, *Grunding der vergleichenden Verhaltensforschung*, *Piper Verlag*, *p. 428*, 1967.
(12) M. Kirk-Smith, D. A. Booth, D. Carroll, P. Davies, *Res. Common Psychol. Psychiat. Behav.*, *3*, 379, 1978.

¿Es sensible el hombre al olor exhalado por la trufa?

diversas especies de mamíferos (véase en particular *Mundo Científico*, n.º 15, p. 592), mucho menos lo era el encontrar estas sustancias en el reino vegetal, y fue por azar que R. Claus y sus colaboradores descubrieran la an-α en la trufa. La historia merece contarse. Según refieren Claus y Höppen en un artículo publicado en 1979,[13] debido a sus investigaciones sobre la 5α-androstenona, su ropa, piel y cabellos estaban impregnados del fuerte olor de este esteroide. La mujer de uno de ellos hizo notar la semejanza de este olor con el de una umbelífera afín al nabo que crecía en su huerto: la pastinaca *(Pastinaca sativa)*. El análisis por cromatografía gaseosa mostró que los extractos purificados de la raíz de pastinaca contienen de 5,5 a 8 ng/g 5α-androstenona. Atraídos por este resultado, los dos investigadores efectuaron análisis similares en diversas especies de hortalizas, umbelíferas o no, olorosas o no: zanahoria, hinojo, perejil, apio, patata, escorzonera, rábano. Únicamente el apio *(Apium graveolens)*, que también es una umbelífera, contiene asimismo 5α-androstenona, a concentración aproximada de 5,6 ng/g. Esta tasa es del mismo orden que la observada en la sangre venosa periférica del verraco. Luego, considerando la presencia de la 5α-androstenona en el cerdo y en dos umbelíferas de huerto, Claus y Hoppen se preguntaron si la trufa no la contendría también puesto que la cerda es muy sensible a ella. Pero encontraron an-α... con los resultados que ya conocemos.

A diferencia de la fruta, cuya reputación está bien establecida, el apio y la pastinaca no forman parte de las plantas tradicionalmente consideradas como afrodisiacos. Estas tres especies vegetales son las primeras donde se han hallado esteroides con efecto de feromona sexual, comprobado en el cerdo y probable en el hombre. Más allá de la interpretación antropomórfica de la presencia de estas sustancias en vegetales consumidos por el hombre, podemos preguntarnos qué papel representan en la planta misma, cuál es su función en la fisiología del vegetal que las produce, cuál es la parte de la planta que las sintetiza. O incluso, en el caso de la trufa, sería interesante saber si es el hongo mismo el que segrega la an-α, o las raíces de la encina trufera, cuando no un microorganismo asociado no determinado. Se ha observado, en efecto, que ciertas especies de trufas —la terfez del Sahara o *Tuber aestivum*— tienen un aroma muy débil o carecen de él en absoluto.

Pernette Langley-Danysz.

(13) R. Claus, H.O. Hoppen, *Experientia*, *35*, 1674, 1979.

El futuro del Universo está muy estrechamente ligado a su densidad actual.

¿Es eterna la expansión del Universo?

■ ¿Se extinguirá el Universo en un frío interminable o, por el contrario, en un calor de infierno? Esta importante pregunta sobre el futuro de nuestro Universo sigue de momento sin respuesta. En la actualidad, el desplazamiento hacia el rojo de la luz emitida por las galaxias parece indicar que éstas se alejan de nosotros a velocidad tanto mayor cuanto más distantes. Según la «hipótesis oficial», el Universo se expande, pero ¿es eterna esta expansión? La teoría indica que el futuro del Universo está muy estrechamente ligado a su densidad. Efectivamente, de acuerdo con los modelos cosmológicos corrientemente admitidos, si la densidad actual del Universo es inferior a un cierto valor crítico, estimado en 5.10^{-30} g/cm^3, la expansión debe proseguir eternamente. En este caso, el Universo se enfriará continuamente (universo abierto).

Al final, las estrellas cesarán de brillar y dejarán poco a poco el sitio a «restos muertos», como las estrellas de neutrones, las enanas blancas e incluso los agujeros negros. En cambio, si la densidad cósmica es superior a dicho valor crítico, la expansión debe ir seguida de una fase de contracción que conducirá fatalmente a un estado singular del Universo, caracterizado por una temperatura muy elevada (Universo cerrado) (fig. 1).

La alternativa es aparentemente sencilla. Sin embargo, para optar por una de estas dos hipótesis es indispensable conocer con precisión la densidad del Universo actual. La observada no sobrepasa la centésima parte del valor crítico, pero no permite llegar a la conclusión de la expansión sin fin, ya que es perfectamente posible que sólo corresponda a una fracción ínfima de la masa total.

Los astrofísicos creen cada vez más en la existencia de los agujeros negros y de un gas extragaláctico muy denso, imposibles de detectar con los medios de observación ordinarios y que, por tanto, podrían contener la mayor parte de la masa total.

Por otra parte, si los fantasmagóricos neutrinos resultan tener una masa no nula (incluso 10 000 veces inferior a la de los electrones), debido a su gran número podrían constituir una masa total suficiente para «cerrar» el Universo. La densidad actual del Universo es, pues, muy difícil de estimar.

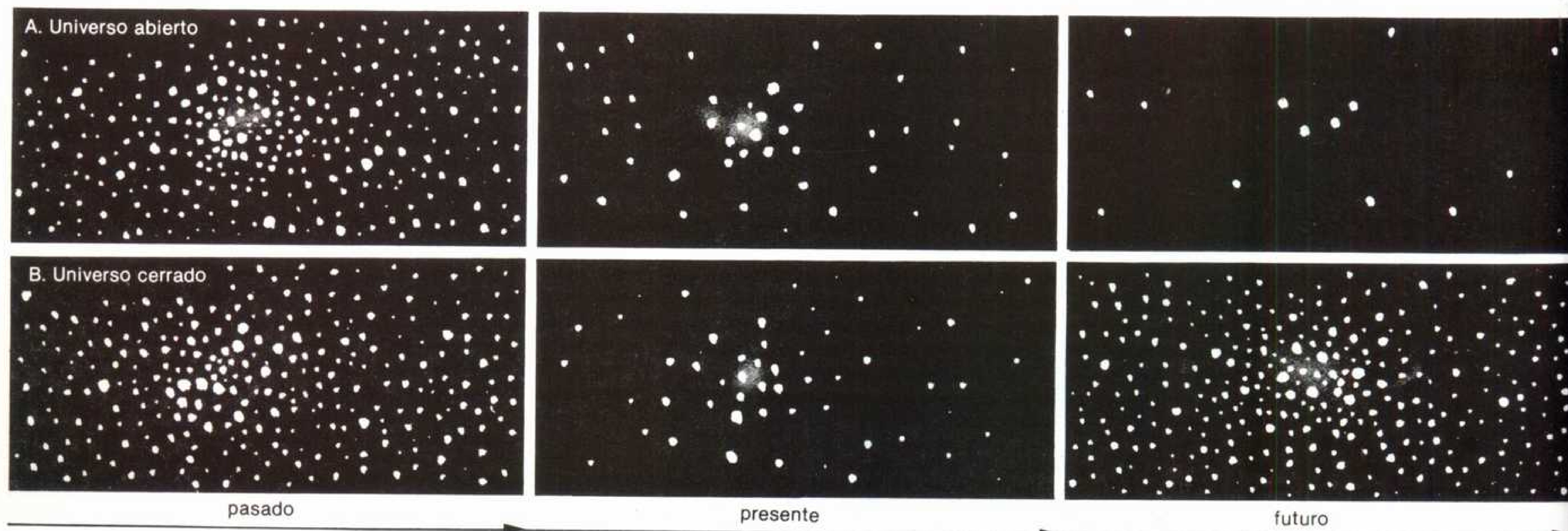
El análisis de la abundancia cósmica de los elementos ligeros, como el deuterio, el helio 3 y 4 y el litio 7, permite evaluar indirectamente esta densidad. Hasta ahora sólo se había atendido con este fin a la abundancia del deuterio, que señalaba un carácter continuamente «expansionista» (o abierto) del Universo (*La Recherche*, n.° 56, p. 462). Pero las recientes mediciones de la abundancia de litio en las viejas estrellas del halo de la Galaxia, realizadas por M. y F. Spite con el telescopio de 3,60 m de Hawai, confirman el carácter «abierto» del Universo.[1] Resultados similares con otros elementos ligeros conducen a la misma conclusión.

Del «Big Bang» a la abundancia de los elementos ligeros

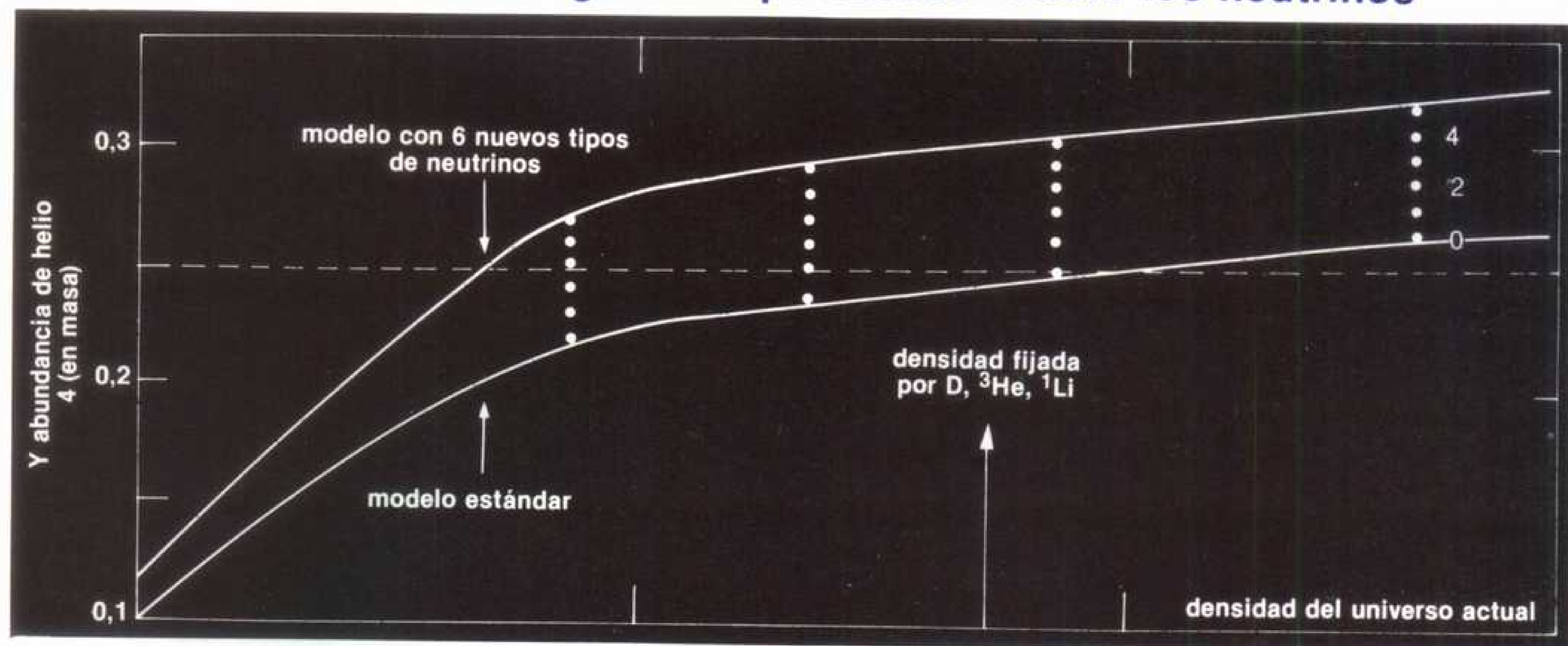
Para comprender cómo a partir de la abundancia en elementos ligeros puede deducirse que nuestro Universo va a dilatarse sin fin es preciso remontarse a los primeros minutos siguientes al Big Bang. Verdad es que no puede afirmarse que todos los cosmólogos hayan adoptado definitivamente la hipótesis de la explosión original bautizada con el nombre de Big Bang, cuya coherencia debe, no obstante, reconocerse: explica al mismo tiempo los movimientos globales de expansión y la existencia de la radiación isotropa con máximo en la banda radio; descubierto por Penzias y Wilson en 1965, es un «gas» de fotones que ocupa todo el espacio y cuya temperatura es de 2,7 K. Esta radiación encuentra explicación en el modelo de explosión original. Por añadidura, el Big Bang predice de forma completamente natural la nucleosíntesis cosmológica, es decir, la formación de los núcleos de las especies químicas más ligeras, como el deuterio o hidrógeno pesado, el helio 3 ó 4 y el litio 7.

En el transcurso de los últimos treinta años se ha dilucidado, por lo menos en grandes líneas, el origen de todas las especies químicas. Las estrellas son sede de reacciones termonucleares res-

Figura 1. **Una alternativa aparentemente simple: bien el Universo continuará dilatándose sin fin (Universo abierto), bien a su actual expansión sucederá una fase de contracción que conducirá obligatoriamente a una densidad muy elevada (Universo cerrado). En este esquema hemos representado las diferentes fases de un Universo «abierto»** (A) **y de un Universo «cerrado»** (B). **La expansión es isotropa, es decir, igual en todas direcciones: un observador situado en no importa qué punto del espacio tiene la impresión de estar en el centro de la expansión. Pero ¿cuál de estos dos universos es el nuestro? Actualmente, la abundancia de los elementos ligeros aboga en favor del Universo abierto** (A).



Influencia de las «galaxias perezosas» sobre los neutrinos



Las abundancias primordiales de helio 4 están calculadas aquí para un modelo de Big Bang estándar (que comprende sólo los electrones y los muones como leptones) y para un modelo que comprende además cinco tipos de leptones suplementarios (a los que corresponden cinco familias particulares de neutrinos); la línea horizontal corresponde a una abundancia de helio igual a Y = 0,25. Este diagrama de J. Yang, D.N. Schramm, G. Steigman y R.T. Rood (*Astrophys. J., 227*, 697, 1979) muestra claramente que en el marco de estos modelos, como máximo sólo puede existir una familia de leptones suplementaria a las de los electrones, muones y leptones τ. Esto está perfectamente de acuerdo con los resultados experimentales de la física de las partículas, que han demostrado la existencia de tres familias de leptones: el electrón y su neutrino, el muón y su neutrino y el leptón tau y su neutrino.

■ En la actualidad, las recientes observaciones y la nucleosíntesis del helio 4 apasionan a los astrofísicos. Hace poco se ha descubierto la existencia de galaxias, que no se vacila en calificar de «perezosas», cuya pereza se caracteriza por su alto contenido relativo de gas interestelar en relación con su masa en forma de estrellas y su bajo contenido de elementos químicos de masa atómica superior al helio. Estas galaxias también han sido llamadas «galaxias azules compactas» en razón de su color azul, debido a estrellas muy jóvenes de formación reciente. Este color azul indica que se trata de galaxias que, quizás a causa de su pequeña masa relativa (del orden del 1 % de la de nuestra galaxia) apenas empiezan su evolución; la medición de su abundancia de helio, que puede compararse a la observada en las regiones ricas en elementos pesados, permite extrapolar el valor de helio primordial. Éste corresponde, en efecto, a una presencia casi nula de los elementos pesados. Estas investigaciones han estado conducidas en particular por Daniel Kunth, James Lequeux, Manuel Peimbert[2] y Wallace Sargent. De la tesis de Kunth[3], puede tomarse para la abundancia en masa de helio primordial el valor de Y = 0,24 ± 0,01, valor no sin consecuencias... sobre la física de las partículas elementales. Efectivamente, un grupo de investigadores de la universidad de Chicago y de la Bartol Foundation de Newark, Delaware[4], así como Yves David y Hubert Reeves, se interesan por las implicaciones de esta abundancia sobre el número de familias de leptones, partículas insensibles a las interacciones nucleares fuertes. Cada una de estas familias comprende un leptón cargado y su neutrino y, en la actualidad, únicamente se conocen tres, a saber: (e^-, ν_{e^-}), (μ, ν_μ) y (τ, ν_τ). David y Reeves[5] han demostrado que un aumento del número de familias diferentes tiene como consecuencia aumentar la densidad efectiva del Universo, suma de las contribuciones no sólo de los nucleones (protones y neutrones), sino también de los leptones, en particular de los neutrinos, y que afecta a la velocidad de expansión del Universo: cuanto más elevada es la densidad efectiva, tanto más rápida es la expansión y, por consiguiente, tanto mayor la cantidad de helio primordial. Cuando el número de leptones distintos es pequeño, la densidad efectiva y la densidad bariónica son prácticamente iguales. En cambio, si el número de leptones diferentes es grande, la cantidad de helio 4 formado en los primeros minutos que siguieron al «Big Bang» es mayor. Así lo demuestra el trabajo de Yang y colaboradores (fig. 2). Se aprecia muy claramente que si se aumenta el número de neutrinos susceptibles de existir en la Naturaleza, acrece la abundancia de helio primordial. Ahora bien, las abundancias de helio 4 primordial deducidas de las galaxias «perezosas» fijan un límite del orden de 3 ó 4 tipos de neutrinos diferentes[6] y, en consecuencia, de 3 ó 4 familias de leptones. Así, ya estarían todas identificadas y, a lo sumo, no quedaría más que una familia por descubrir. La cosmología impone, pues, esta restricción a la física de las partículas elementales.

ponsables de su luminosidad. Estas reacciones permiten la transformación de elementos menos pesados en elementos más pesados: es la nucleosíntesis. Así, el carbono es engendrado en el interior de las estrellas «gigantes rojas», como Capella, por la transformación del helio por fusión a algunos centenares de millones de grados. Sin embargo, la abundancia observada de los elementos más ligeros no puede explicarse simplemente por la nucleosíntesis estelar, ya que las estrellas no consiguen formarlos en cantidad suficiente para justificarla. El deuterio, o hidrógeno pesado, por ejemplo, sólo puede ser producido a temperaturas del orden de varios millones de grados. Pero a estas temperaturas es transformado casi inmediatamente en helio 3. De hecho, si la formación del deuterio va seguida de un enfriado rápido, puede evitarse esta fatal destrucción. Estas condiciones muy particulares, necesarias para la salvaguardia del deuterio, no se dan en el interior de las estrellas; en cambio, sí se dan después de una explosión. Así, la abundancia de deuterio puede explicarse muy bien en el marco del Big Bang original. Justamente después de la gran explosión que precedió al nacimiento de nuestro Universo, la temperatura fue superior a 3 000 millones de grados Kelvin; entonces la materia estaba disociada en sus componentes más elementales: los protones, los neutrones y los electrones. La temperatura descendió al cabo de un centenar de segundos y los protones y neutrones que aún no habían tenido tiempo de desintegrarse pudieron combinarse para dar nacimiento a los núcleos de deuterio. Se inició entonces bruscamente una cadena de reacciones nucleares que convirtieron la casi totalidad del deuterio recién formado en helio 4. Los núcleos de deuterio, al reaccionar entre sí, se transformaron en tritio y helio 3, y al hacerlo con estos dos núcleos dieron nacimiento al helio 4, más estable. Por último la interacción entre el helio 3 y el helio 4 engendró el litio 7 vía el berilio 7.

De esta forma se crearon cantidades pequeñas (pero compatibles con la observación) de deuterio, de helio 3 y de litio 7. Pero, de hecho, al final de la nucleosíntesis cosmológica, la mayor parte de las partículas nucleares son bien núcleos de helio 4 bien protones libres (núcleos de hidrógeno): todos los neutrones son desintegrados o capturados en los núcleos de helio 4. También, el principal parámetro que determina la abundancia primordial de helio 4, es el número relativo de neutrones y protones. Las condiciones de equilibrio térmico implican que los números de protones y neutrones sean comparables en las fracciones de segundo que siguen al Big Bang: a temperaturas superiores a varios miles de millones de grados Kelvin las transiciones de protones a neutrones son tan rápidas como las transiciones inversas. Pero a temperaturas más bajas, este equilibrio cede su

(1) F. Spite, M. Spite, *Astron., Astroph.*, 1982, en prensa.
(2) J. Lequeux, M. Peimbert, J.F. Rayo, A. Serrano, S. Torres Peimbert, *Astron., Astroph., 80*, 155, 1979.
(3) D. Kunth, tesis doctoral, Universidad de Paris 7, 1981.
(4) K.A. Olive, D.N. Schramm, G. Steigman, M.S. Turner, J. Yang, *Astrophys, J., 246*, 445, 1981.
(5) Y. David, H. Reeves en *Physical Cosmology*, ed. R. Balian *et al.*, North Holland.
(6) J. Adouze en *Astrophysical Cosmology*, ed. H.A. Bruck, G.V. Coyne y M.S. Longair, 1982, Pontifica Academia Scientiarum, p. 395.

Con la misión espacial *Magellan* puede esperarse medir de forma más precisa la abundancia de deuterio primordial.

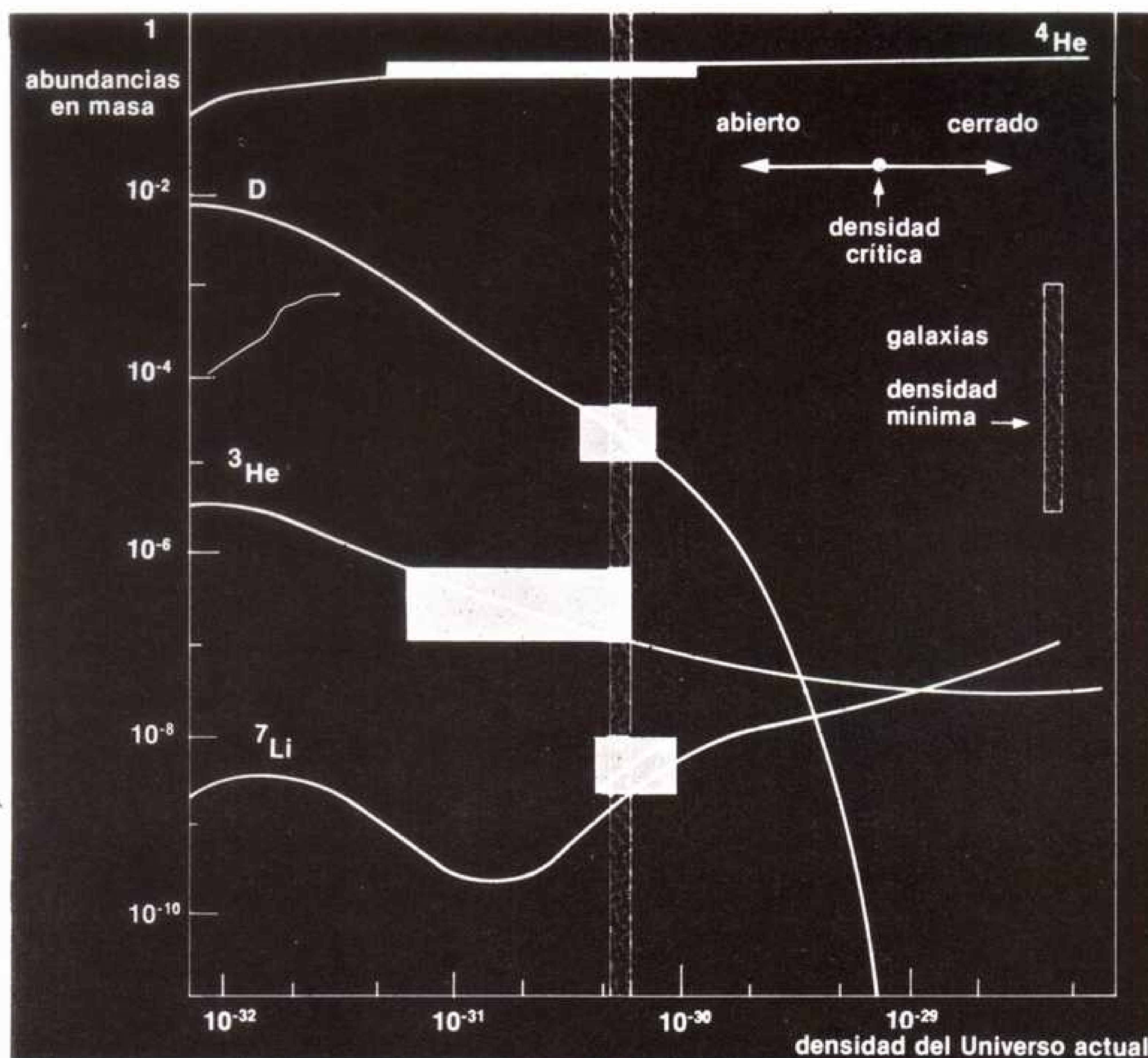


Figura 2. **La nucleosíntesis primordial puede utilizarse para determinar el carácter abierto (en expansión continua) o cerrado (susceptible de conocer una sucesión de fases de expansión y de contracción) del Universo. Efectivamente, como muestra esta figura, hay concordancia entre las abundancias observadas (rectángulos) de los elementos ligeros (deuterio, litio, helio 3 y 4) y las calculadas (curvas) en el marco de un modelo de «Big Bang» clásico para una densidad de 5.10^{-31} g/cm^3. Como esta densidad es diez veces inferior al valor crítico que marca la frontera entre un Universo cerrado o abierto, parece que el Universo en que vivimos es del tipo abierto.** (Figura extraída de un artículo de S.M. Austin en *Progress in Particle and Nuclear Physics*.)

lugar a la desintegración clásica de neutrones. Ahora bien, si el Universo se dilata muy rápidamente, la temperatura a la que se rompe el equilibrio entre transición y transición inversa es más elevada, y la relación de los neutrones con respecto a los protones es estonces mayor. La nucleosíntesis de helio 4 está, por tanto, estrechamente ligada a la velocidad con que se dilata el Universo; en cambio, la abundancia de deuterio, helio 3 y litio 7 depende de la densidad del mismo: con una densidad más elevada, las reacciones nucleares habrían sido más rápidas, y el deuterio y el helio 3 habrían sido completamente «quemados» en helio 4 ó litio 7.

¿Hacia un futuro glacial?

Es con argumentos tales que, a partir de las abundancias del deuterio y del helio observadas, se determina la densidad del Universo actual (fig. 2): el valor máximo estimado de esta forma corresponde a 5.10^{-31}. Este valor, inferior a la densidad crítica, permite concordar efectiva y óptimamente las cantidades observadas con los valores calculados en el marco del modelo «clásico» del Big Bang. Austin y King[7] también han demostrado que el litio 7 se constituye a expensas del deuterio y del helio 3, otro argumento a favor de un Universo en expansión continua, incluso si este elemento sólo estuviese formado en parte por la nucleosíntesis primordial. Efectivamente, si la densidad del Universo es elevada, la formación de deuterio queda reducida en relación a la del litio 7. Así, un Universo demasiado denso conduce irremediablemente a la formación de demasiado litio (fig. 2). Por otra parte, Schramm[8] ha desarrollado recientemente la idea de que la abundancia de helio 3 también podría fijar un límite inferior del orden de 10^{-31} g/cm^3 a la densidad actual del Universo. Efectivamente, como el helio 3 no se destruye en el interior de las estrellas, no puede haber sido superproducido por la nucleosíntesis original, lo cual ocurriría si la densidad del Universo fuese demasiado pequeña (fig. 1). Observando el medio interestelar en radioastronomía[9] y determinando la relación entre el ^{3}He y el He en el sistema solar (sabiendo que una parte del helio 3 procede de la combustión del deuterio original) se fija un límite superior del helio 3 primordial y, en consecuencia, un límite inferior a la densidad actual de la materia.

Los problemas planteados por el deuterio, el helio 3 y el litio 7 distan de estar resueltos. En particular, las abundancias observadas no siempre se determinan de forma precisa. No debe olvidarse que fue en 1973 cuando el satélite *Copérnicus* detectó por primera vez directamente la presencia de deuterio en el espacio, observando la absorción de la luz ultravioleta estelar por las nubes interestelares. Estas mediciones demostraron la presencia de uno a dos átomos de deuterio por cien mil átomos de hidrógeno ligero. Nuevas observaciones, en particular por el grupo francés de Verrières-Lebuisson, han confirmado este resultado; pero un grupo de astrofísicos del que formo parte y que está animado por A. Vidal Madjar y C. Laurent[10] del Laboratorio de física estelar y planetaria del CNRS proyecta una misión espacial llamada *Magellan* cuyo objeto, entre otros, es medir el contenido de deuterio del gas interestelar en galaxias menos evolucionadas que la nuestra, como las Nubes de Magallanes. Con esta misión espacial cabe esperar que se mida de forma bastante más precisa el contenido primordial de deuterio.

Pero, a pesar de los problemas aún no resueltos y de las incertidumbres, si se deja a la nucelosíntesis primordial, y por tanto a la explosión original, el cuidado de explicar la formación de los elementos químicos más ligeros, de las abundancias observadas actualmente puede deducirse la densidad de nuestro Universo. Ahora bien, la densidad así estimada es inferior al valor crítico. En este marco, nuestro Universo ya no dejará de enfriarse. Por tanto, habrá evolucionado a partir de una temperatura y de una densidad infinitas, condiciones originales tan poco familiares que apenas pueden imaginarse, y acabará por extinguirse en un frío interminable.

El Universo no puede escapar a este siniestro destino a menos que los neutrinos tengan una masa del orden de la diezmilésima de la masa del electrón. Debido a su número elevado, comparable al de los fotones, y a pesar de su pequeña masa individual, los neutrinos contribuirían más que la materia ordinaria a la densidad del Universo, sin afectar a la nucleosíntesis. Por tanto, si los neutrinos tienen una masa no nula (lo que aún se está lejos de probar), el Universo podría conocer entonces un futuro explosivo y llameante.

Jean Audouze.

(7) S.M. Austin, C.H. King, *Nature, 269*, 782, 1977.
(8) D.N. Schramm, *Cosmology and particles*, ed. J. Audouze *et al.*, Éditions Frontières, 1981.
(9) R.T. Rood, T.L. Wilson, G. Steigman, *Astrophys. J., 227*, L97, 1979.
(10) P. Bruston, J. Audouze, A. Vidal Madjar, C. Laurent, *Astrophys, J. 243*, 161, 1981.

Libros



Miquel Siguan
«La Psicologia a Catalunya»
Ediciones 62. Col. Llibres a l'Abast, 161.
Barcelona 1981.

Un esmerado trabajo de síntesis y una visión histórica original y seria son dos de las características más destacables que Miquel Siguan consigue plasmar en su libro sobre la Psicología en Cataluña. Aunque, como el mismo autor reconoce, no existen fronteras para la ciencia, una visión histórica del papel que la Psicología ha desempeñado en Cataluña nos había de ser útil y necesaria a la vez para poder situarla, de una parte, en contexto con el resto del mundo, y de la otra, en el marco socio-histórico-cultural de Cataluña, sin olvidar las circunstancias políticas del momento que, sin duda, tanto han incidido en el desarrollo de nuestra ciencia.

Este doble objetivo, que Miquel Siguan se propone a la introducción de su libro, es abordado en tres partes. La primera atiende a las ideas sustentadas al respecto por los autores catalanes medievales y renacentistas; la segunda, a la psicología en la época moderna; la tercera, en fin, señala la integración de la Universidad en todo el proceso. Partiendo, pues, del siglo XIII con Ramón Llull lel autor analiza las aportaciones de este pensador, señalando a un tiempo las de Ausias March y Joanot Martorell. En un segundo capítulo nos acerca hasta la época moderna repasando la obra de Lluís Vives y André Piquer.

Ya en el siglo XIX, revisa el pensamiento de Martí d'Eixalà y de su discípulo Xavier Llorens i Barba, con quien nos introduce en las «Escola Filosòfica Catalana». En otro capítulo analiza las obras que desde una perspectiva médica se ocupan de cuestiones psicológicas. Éste es el caso de Marià Cubí, que introduce la frenología en Cataluña, Josep Feliu Monlau, Pere Mata y Josep Letamendi. A Ramón Turró le dedica íntegramente un capítulo, con gran riqueza de detalles tanto biográficos como epistemológicos. Eugeni d'Ors y Alexandre Galí quedan inscritos en el marco de la influencia y repercusión que el movimiento de renovación pedagógica de Decroly, Montessori, Claparàde y otros tuvo en Cataluña en particular en el campo de la psicología. Digno relieve concede M. Siguan al Institut d'Orientació Professional, cuyos inicios, actividades y avatares, propios de las circunstancias políticas de la época, analiza con detalle, a la par que las figuras de Emili Mira y Joaquim Xirau.

Sobre la situación actual no trata Siguan en extenso pues, como él mismo reconoce, es una etapa demasiado próxima para poder considerarla con perspectiva histórica; permítasenos añadir que la perspectiva es tanto más difícil de guardar cuanto que nuestro autor aparece de manera destacada en ella, en la que, sin duda, le será reconocida algún día la importante aportación efectuada al desarrollo de la Psicología en Cataluña. Como afirma Roland Barthes en su último ensayo *La Cámara Lúcida,* «la Historia es histérica: sólo se constituye si se la mira, y para mirarla es necesario estar excluido de ella».

Marta Gili.

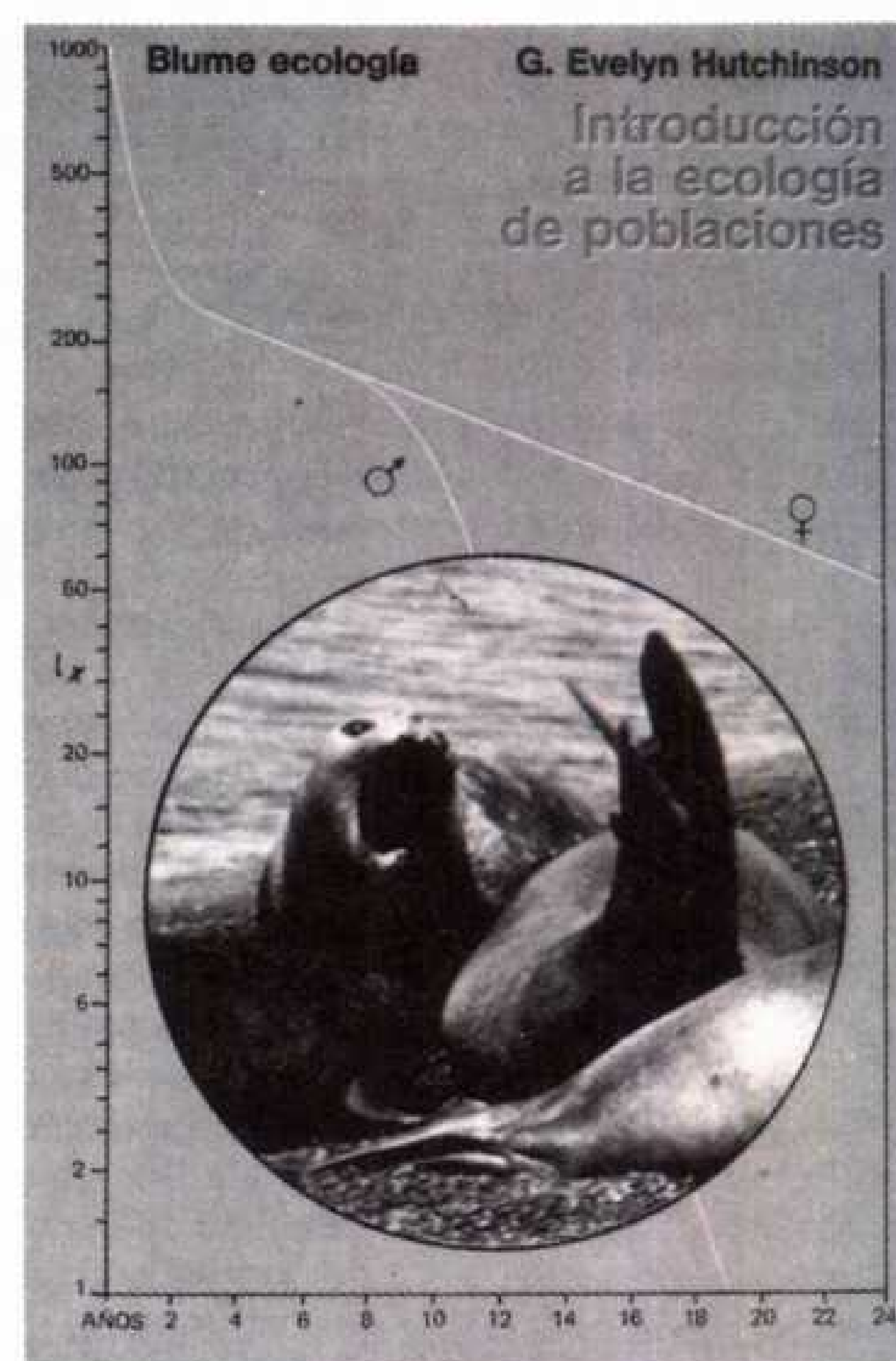
Hutchinson, G.E. (1981)
Introducción a la ecología de poblaciones
Colección Blume ecología,
492 pp. Editorial Blume

En los diez últimos años han visto la luz un número elevado de obras sobre el tema de las poblaciones de organismos, lo que podemos llamar también demografía biológica, no tanto para diferenciarla de la demografía humana sino, más bien, para darle mayor generalidad; como novedad, el gran interés por las poblaciones de plantas.

Sin pretender una lista exhaustiva cabe contabilizar, entre otras, las obras de M. Williamson *The analysis of biological populations* publicada en 1972 (Edward Arnold), de A.S. Boughey (1973) *Ecology of populations* (Macmillan), de Dajoz (1974) en la bibliografía francesa, *Dynamique des populations* (Masson), y de N. Gilbert y cols. (1976) *Ecological relationships* (Freeman), recientemente traducido para esta misma colección Blume ecología. En 1977 se edita *Population biology of plants* de J.H. Harper (Academic Press), excelente síntesis sobre las peculiaridades demográficas de los vegetales. En 1978 aparecen el libro que nos ocupa y las actas de un congreso sobre ecología experimental y demografía vegetal a las que se asigna el título *Structure and functioning of plant populations* (A.H.J. Freysen y J.W. Woldendorp editores, North-Holland).

En el decenio actual la editorial Blackwell ha impreso una monografía botánica con el título *Demography and evolution in plant populations* (O.T. Solbrid ed., 1980) y el libro de M. Begon y M. Mortimer *Population ecology* (1981), cuyo subtítulo *A unified study of animal and plants* ya es un claro indicador del afán por superar el problema de «las dos demografías».

En el contexto de las obras citadas, la de G.E. Hutchinson es bastantes particular. Corresponde a una asignatura denominada «Principios Ecológicos», que el autor impartió en su cátedra de la universidad de Yale hasta su jubilación. Se trata de una obra madura, resultado de una continua incorporación de la producción ecológica habida en los últimos veinticinco años y puesta en escena, precisamente, por uno de los hombres que más ha influido en el desarrollo de la ecología moderna. La obra es en realidad una detallada y apasionante historia de una parte importante de esa joven ciencia. Una simple y rápida inspección del libro pone ya de manifiesto algo inusitado en los tratados científicos: la exuberancia de notas a pie de página, mucho más usuales en lo que en terminología hispana podemos llamar obras «de letras», y que son un fiel reflejo, sin duda, de la exquisita erudición del autor, investigador bibliófilo de las fuentes originales.



El texto está estructurado en seis capítulos el primero de los cuales está dedicado a la ecuación logística que, dice, habría de ser sobre todo general y realista, aun a costa de algo de la precisión, que, en opinión de Levins, debe constituir la tercera característica de una buena teoría junto a generalidad y realismo.

El segundo capítulo se ha titulado «Maneras interesantes de pensar en la muerte», por lo que parece más bien extraído de un libro de práctica ascética, cuando en realidad es un análisis bastante exhaustivo de las curvas de supervivencia, cuyo interés justifica el epígrafe inicial. La natalidad viene algo más someramente tratada en el tercer apartado, y seguida por una buena exposición de la problemática de la vida en común.

Como era de esperar de un autor que ha hecho aportaciones definitivas al concepto de nicho ecológico, el tema es tratado con considerable extensión, en contraste con alguna de las corrientes modernas que, aunque reconocen un importante interés histórico en la idea de nicho, se inclinan más por el concepto de tipo biológico.

En el sexto y último apartado se tratan aspectos de la comunidad, especialmente los de estabilidad y diversidad.

Para concluir, y antes de un apéndice con nociones de cálculo diferencial, un «Aria da Capo y Quodlibet» en la que el autor declara que «el libro se ha escrito, en parte, para mostrar que hay una considerable cantidad de conocimiento asequible, dispuesto de manera irregular en una vasta área de ignorancia». Éste es, sin duda, un buen diagnóstico de la ecología actual.

Antoni Escarré.

Alegato por un sabio encadenado

Sajarov
300 pp., Le Seuil.

Éditions du Seuil acaba de publicar la traducción francesa de un libro jubilar dedicado a Andrei Sajarov por sus amigos rusos con motivo de su 60 cumpleaños, celebrado el 21 de mayo de 1981 en el silencio de su exilio en Gorki.

Sabemos que desde esta fecha Andrei Sajarov y su esposa Elena Bonner se han declarado en una huelga de hambre que les ha conducido al borde del agotamiento, para que su nuera Liza pudiera obtener autorización para reunirse con su marido en Estados Unidos. Sajarov no puede soportar la idea de que los miembros de su familia e incluso sus amigos sean molestados por causa de su postura disidente. Dos miembros de la Academia de Ciencias de París, Louis Michel y Jean-Claude Pecker viajaron a la Unión Soviética a primeros de diciembre de 1981 en un intento de reunirse con Sajarov e informarle de su elección en enero de 1981 como asociado extranjero de la Academia de Ciencias de París (no como miembro extranjero de la Academia francesa como se indicó por error en la p. 23 de este libro. Señalemos que el año precedente la Academia de Ciencias morales y políticas igualmente lo había elegido asociado extranjero). El correo dirigido a Sajarov desde el extranjero es interceptado por la KGB y no lo recibe. Los dos científicos franceses no fueron autorizados a reunirse con su colega ruso, pero accedieron al presidente de la Academia de ciencias de la Unión Soviética y, el 10 de diciembre, Sajarov y su mujer pudieron dar fin a su huelga de hambre al obtener su nuera la autorización de ir a reunirse con su marido. Louis Michel y Jean-Claude Pecker recuerdan en su prefacio del presente libro las grandes etapas de la vida de Sajarov. Después de crear con su maestro Igor Tamin la bomba de hidrógeno soviética y tras ser elegido a la edad de 32 años miembro de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética y colmado de honores, a partir de 1968 decidió consagrarse a la causa de la paz, de la libertad y de la defensa de los derechos humanos lo que le valió caer en desgracia. De igual modo había conseguido que el gobierno soviético suscribiera en 1963 el acuerdo prohibiendo las explosiones nucleares en la atmósfera, explosiones que, por el nivel de radioactividad artificial que engendraban, se habían convertido en un auténtico peligro para la especie humana. Al mismo tiempo participó con otros colegas soviéticos en el desenmascaramiento del mixtificador Lyssenko quien, tras haber causado a la agronomía de su país irreparables pérdidas, acabó por ser repudiado por los científicos soviéticos.

El libro jubilar está dividido en varios capítulos que contienen la quintaesencia de lo que interesa saber sobre la vida y la obra de este hombre excepcional que es Sajarov: su autobiografía, una recensión de sus trabajos científicos, especialmente los de física teórica, que prosigue con éxito a pesar de su aislamiento total, extractos de sus principales escritos, en particular de sus *Reflexiones sobre el progreso, la coexistencia pacífica y la libertad intelectual* aparecidos en 1968 y que lo hicieron célebre en el mundo occidental, y también un extracto de su conferencia Nobel de 1975 y que su esposa leyó en Oslo, al no haber sido autorizado él mismo a asistir; por último, extractos de sus cartas a Breznev y de sus escritos recientes. El autor de estas líneas ya ha tenido la ocasión de dar cuenta de la evolución del pensamiento de Sajarov —pues los acontecimientos le han hecho cambiar de opinión— en un artículo aparecido en la *Encyclopaedia Universalis 1976.* A él nos permitimos remitir al lector.

La parte más original de la presente colección es el capítulo de homenajes y testimonios presentados a Sajarov en su sexagésimo aniversario por una veintena de amigos, de los que la mitad son mujeres. Testimonios de una tierna amistad y admirable valor, ya que la mayor parte de estos testigos viven en la Unión Soviética y forma parte del Comité de defensa de los derechos del hombre o de la Comisión para el respeto de los acuerdos de Helsinki. La mayoría han conocido la prisión y el exilio, varios los padecen actualmente; y todos saben que su valeroso testimonio va a ser el pretexto —y de hecho lo ha sido ya— de nuevos ataques a su imagen. Ya que si el prestigio mundial de que goza Sajarov constituye para él una relativa protección que le ha evitado hasta hoy la prisión y el hospital psiquiátrico, no ocurre lo mismo con sus discípulos, que son duramente perseguidos. Él lo sabe, sufre enormemente por ello, y no cesa de defenderles haciendo llamamientos a la opinión mundial. He ahí el crimen de «antipatriotismo» que se le reprocha mientras que —¡oh burla!— es uno de los pocos humanos que realiza el ideal auténtico comunista para quien la patria es «el género humano».

El agravio hecho a Sajarov por el gobierno de su país incita a algunos intelectuales occidentales a denunciar la «distensión», a preconizar el refuerzo de la guerra ideológica contra el comunismo, y a aceptar el rearme nuclear de las potencias de la OTAN para hacer frente a un pretendido rearme soviético. ¿Es deseada por Sajarov esta actitud maniquea? No tenemos ninguna razón para adoptar tal postura. Recordemos que Francia mantiene en la cárcel a un prisionero político, sin haber sido juzgado, desde hace más de tres años y que el cambio de gobierno no ha variado en nada ¡ay! su situación (caso Dobbertin). Querríamos responder a esta cuestión por medio de dos extractos de sus escritos. Larissa Bogoraz en el artículo sobre la evolución del pensamiento de Sajarov de las *Reflexiones de 1968 al movimiento sobre los derechos del hombre de 1978* cita el texto siguiente: «La coexistencia pacífica; el rechazo de todo enfrentamiento, cualquiera que sea, incluso ideológico...». Tales son los ideales propuestos por Sajarov en su texto de 1968, y precisa: «Leed su libro *Mon pays et le monde,* publicado en 1975: le ha sido fiel hasta hoy». En su conferencia Nobel de diciembre de 1975, Sajarov declara: «Estoy convencido de que, en la lucha por la protección de los derechos humanos, debemos actuar ante todo con miras a proteger a las víctimas inocentes de regímenes instalados en diferentes naciones, sin pedir la destrucción o condena total de estos regímenes. Necesitamos reformas, no una revolución».

Sajarov conoce demasiado bien la historia como para saber que la revolución francesa, la revolución rusa y la revolución iraniana han sido, todas, generadoras de horrores y han desembocado en regímenes totalitarios. La palabra que repite más a menudo en su conferencia Nobel es la palabra francesa «détente». Insiste sobre la necesidad absoluta de promoverla para salvar a la especie humana del suicidio nuclear. Así, en 1980, desde la lejanía de su exilio, proclama (p. 46 del presente libro): «Yo considero que los problemas de la guerra y de la paz, los del desarme, son tan importantes que en la situación más difícil deben tener, por lo mismo, prioridad absoluta; es preciso utilizar todas las posibilidades existentes para resolverlos; hay que preparar el terreno para una progresión en el futuro. Y en primer lugar, impedir una guerra atómica, principal peligro del mundo actual. Es ahí donde coinciden los objetivos de todos los hombres responsables de la Tierra, incluidos, como pienso y espero, los dirigentes soviéticos». Sajarov no ignora los otros graves problemas de nuestro tiempo y de ellos habla en su conferencia de Oslo: la superpoblación del Tercer Mundo y el hambre que engendra y que cada año causa la muerte de millones de hombres, la contaminación producida por el desarrollo anárquico de la industria y que amenaza la vida de las generaciones futuras. Pero sabe que ello no se logra más que con el desarme, que podrá liberar los fondos necesarios para superar estos males, y que hay que empezar por ahí si la especie humana debe sobrevivir.

Alfred Kastler
Premio Nobel de Física

Biología

R. Scriban,
Biotechnologie,
592 pp., Technique et Documentation.

Cada cual, en sus periódicos preferidos, puede ver el notable interés que despiertan hoy las «biotecnologías», sin por otra parte comprender demasiado lo que precisamente es necesario entender por este término. Más importante aún, los poderes públicos se dan cuenta de la importancia potencial de estas nuevas técnicas (?). Pero quien quisiera lanzarse a la aventura industrial biotecnológica toparía con un problema muy grave: la formación y la enseñanza de las biotecnologías hoy aparecen muy divididas. De ahí, que este manual sea, en verdad, un hallazgo. Tanto el estudiante como el ingeniero encontrarán en él exposiciones muy claras, de nivel universitario, acerca de casi todo lo que constituye la biotecnología: qué abarca, de qué trata, y podrán adquirir una formación de base, antes de ir más lejos, sin necesidad de chocar con una tecnicidad demasiado apretada y exclusiva: obra recomendable a todas las bibliotecas universitarias.

J.Y. Gautier,
Socioécologie, l'animal social et son univers,
268 pp., Privat.

A la sociobiología, que privilegia el papel de la filogénesis en el origen de las estructras sociales y la inserción de los individuos en estas estructuras, J.Y. Gautier, profesor de la

universidad de Rennes, opone en esta obra una aproximación socioecológocia demostrando cómo la organización de los grupos de mamíferos sociales manifiesta una fuerte variabilidad, especialmente intraespecífica, en función de las relaciones que los animales mantienen con su universo trófico, sus predadores y sus congéneres. Los numerosos ejemplos presentados por el autor ponen de manifiesto, así, que el genotipo no determina en absoluto *una* expresión particular rigida de las relaciones sociales, sino que soporta una fuerte variación de esta expresión particular rígida en las relaciones sociales (con ciertos límites, evidentemente). Ante todo, que el lector interesado en la lectura de esta obra no manifieste reticencias; J.Y. Gautier ha sabido evitar el escollo de afrontar la sociobiologia en el resbaladizo terreno de los argumentos nacidos de las ideologías políticas, para atenerse a un combate teórico leal: hecho contra hecho.

El progreso técnico y sus problemas

J.-J. Salomon,
Prométhée empêtré,
la résistance au changement technique,
174 pp., Pergamon Press.

Prometeo arrebata el fuego a Júpiter y lo ofrece a los hombres: mito del progreso técnico. Furioso, Júpiter encadena a Prometeo del cual un águila devora el hígado sin cesar; el amo del Olimpo castiga así a los hombres enviándoles a Pandora. Ésta libera los males de la Humanidad encerrados en una caja y los esparce en el mundo donde se mezclan con los bienes: la resistencia a los progresos técnicos, o más bien sus consecuencias. Desde las primeras páginas, J.-J. Salomon asocia indisolublemente a Pandora y Prometeo; al generalizarse, el progreso técnico ha engendrado contradicciones políticas y sociales que a su vez marcan el camino de la tecnología, lo orientan y seleccionan los resultados. Bienhechora de la Humanidad, la tecnología se convierte en una de las fuentes del bien y del mal. Prometeo se ha enredado en Pandora.

J.-J. Salomon expone en primer lugar la interacción creciente entre tecnología, ciencia y sociedad. Las ráfagas de revuelta de los Luditas rompiendo las máquinas no están a la orden del día. Hoy no se rechazan los frutos de la técnica sino a sus iniciadores. El lanzamiento de grandes operaciones tecnológicas no tiene casi nada en común con los inventos todavía artesanos de principios de la era industrial. En adelante ha habido necesidad de operaciones concertadas, gigantes, dirigidas por tecnócratas sobre la base de posturas económico-militares. El inocente particular tiene de qué inquietarse ante esta curiosa república de sabios, pero debe guardarse de cualquier recusación. Dado que ciencia y sociedad son inseparables a partir de ahora, hay que elaborar procedimientos de control que restituyan al ciudadano las grandes decisiones tecnológicas y la confianza en sus resultados.

En la segunda parte de la obra, J.-J. Salomon se dedica a ello desarrollando diversas formas evolucionadas de «participación». No confundir con la participación que combatían las consignas de mayo del 68. De hecho, la nueva participación recupera un conjunto de respuestas a los desórdenes mal previstos por la tecnología: acceso a la información administrativa en Estados Unidos, círculos de estudios suecos sobre lo nuclear, campañas de información danesas y austríacas, programas universitarios de formación, comisiones de encuesta, refrendos. El debate sobre lo nuclear, alusivo o enunciado, constituye la espina dorsal de la obra; resulta normal, ya que él ha provocado la mayor movilización y aparición de formas originales de contestación.

No obstante, no es cierto que los otros riesgos de la tecnología se sometan a su esquema. Una encuesta más detallada demostraría, por ejemplo, que la Comisión francesa para la informática y las libertades no tiene sólo la función que indica, o bien que la microinformática no se reduce «al terrorismo que ha precedido al reconocimiento de los servicios que los pequeños ordenadores pueden dar». En general, el examen de los modos de participación es un poco rápido. Una única alusión al programa STC (ciencia, tecnología, sociedad) que actualmente suscita un amplio movimiento en el CNRS; las «tiendas de la ciencia» implantadas ya en al menos seis universidades francesas son denominadas «talleres científicos»; se omite la movilización sobre el amianto; nada sobre los países del Este. Todo inventario tiene sus defectos, en particular en un campo nuevo en el que las obras en francés se cuentan con los dedos de una mano. J.-J. Salomon rotura; no se le puede pedir que haga de jardinero.

La «participación» es quizás una respuesta demasiado suave a las graves cuestiones filosóficas y políticas provocadas por el autor en su primera parte. Hay desproporción. Así como no se puede conciliar con la ayuda de algunas citas a Marx y Schumpeter, ni Aron y Habermas, no se puede esperar el resolver la articulación entre ciencia, tecnología y sociedad por algunos modos de «participación». Quedan por hacer una sociología y una antropología de la ciencia y del poder en las sociedades contemporáneas. En su ausencia, la pareja ciencias de la sociedad/ciencias de la naturaleza queda coja. Nada podrá conseguirse sin una alianza entre iguales. J.-J. Salomon, con esta obra, es uno de los mejor situados para trabajar en ello. Se inscribirá así en la ilación del mito de Prometeo tal como dice Hesiodo: Deucalión, hijo de Prometeo, se casa con Pirra, hija de Pandora. Advertidos por Prometeo, la joven pareja es la única en escapar al Diluvio. Repueblan la Tierra lanzando por encima de su espalda, piedras que se transforman en hombres y mujeres cuando dan con el suelo. Espléndida metáfora, largamente discutida por Ernst Cassirer, principio y fin de los tiempos en la reconciliación de la moral y la física.

Hervé Le Bras
Director de estudios en la Escuela de altos estudios de ciencias sociales

Historia de las ciencias

Le musée de grandes inventions,
de la préhistoire à nos jours,
240 pp., Atlas.

Esta obra, abundante y agradablemente ilustrada, presenta la historia de las técnicas más diversas. Del arado a la máquina de coser, de la rueda hidráulica a la ametralladora, del reloj al laser; la revista es bastante completa. Naturalmente, los informes sucesivos (el vidrio, muelas de molino y prensas, la medida del tiempo, las máquinas de guerra, etc.) no son muy detallados; pero de ellos se encontrarán algunas precisiones cronológicas y diversas informaciones esenciales. Una colección así no pretende competir con las grandes historias de las técnicas; pero, por sus cualidades de claridad y concisión, puede constituir un buen recordatorio ilustrado para las denominadas gentes «cultivadas» y un útil manual de iniciación para las que lo son menos...

F. Dürrenmatt,
Albert Einstein,
70 pp., Lettres Universelles,
Ed. de l'Aire, Diff. PUF.

El dramaturgo Friedrich Dürrenmatt ya había puesto en escena *Les physiciens;* invitado por la Ecole Polytechnique de Zurich a dar una conferencia sobre Einstein, hete ahí que —en el discurso— nos depara una puesta en escena bastante poco común. De los dichos de Einstein acerca de la ciencia, la filosofía, la realidad, el escritor ha extraído el argumento de una inesperada y singular partida de ajedrez entre Dios y el mismo Einstein, en la que los jugadores participan del juego en el marco de una concepción determinista. (Está de acuerdo con el pensamiento de Einstein que el juego sea el ajedrez, figura de una cadena regulada de proposiciones lógicas, y no el de dados cuyo carácter aleatorio Einstein, como es sabido, aborrecía.) En esta partida fabulosa, los protagonistas se llaman también Espinoza, Hume y Kant. La parábola es profunda y a veces se pierde en algunos meandros oscuros; pero el discurso deja imaginar muy bien la pieza dramática que podría resultar. La lección es ejemplar: la teoría física ofrece hermosos temas a los escritores y dramaturgos.

A. Dahan-Dalmédico y J. Peiffer,
Routes et dédales. Histoire des mathématiques,
284 pp., Études Vivantes

Las autoras son dos matemáticas que han atendido a la historia de su disciplina. Lamentando que, en Francia, la enseñanza de las matemáticas esté «demasiado a menudo limitada a los aspectos rígidos e inmutables de las teorías», han llevado a cabo una encuesta sobre los orígenes y la evolución (a menudo compleja) de estas últimas. La opción fundamental es, pues, clara: demostrar que las matemáticas no se reducen a una actividad puramente formal, a un conjunto de teoremas cuya enseñanza acaba por resultar dogmática... El resultado es una obra densa, viva, pedagógica en el mejor sentido de la palabra. Amy Dahan-Dalmédico y Jeanne Peiffer lo declaran: hacen «historia conceptual» y privilegian «el desarrollo de las ideas internas en la disciplina». Han descuidado, pues, algunas investigaciones que tratan de articular estrechamente la actividad matemática con

Publicaciones recibidas

las otras actividades culturales y sociales. Sin embargo, algunas páginas, muy interesantes, establecen «puentes con las condiciones de evolución de la civilización occidental». Además, el cuidado al evocar el contexto histórico se manifiesta en numerosas ocasiones.

Resultaba imposible decirlo todo en menos de trescientas páginas. Pero se establece un juicioso equilibrio entre las ideas generales y las explicaciones que indican claramente la técnica matemática; y las autoras, a fin de cuentas, han conseguido hallar un estilo de exposición muy eficaz. No resulta excesivo subrayarlo: *Routes et dédales* constituye una excelente introducción a la historia de las matemáticas (y al universo matemático como tal). Es de desear que este libro se convierta en una referencia usual en los últimos cursos de los institutos y en las universidades. También debería hallar acogida en la biblioteca de todos los que se interesan por la historia de las matemáticas (desde sus orígenes hasta fines del siglo XIX).

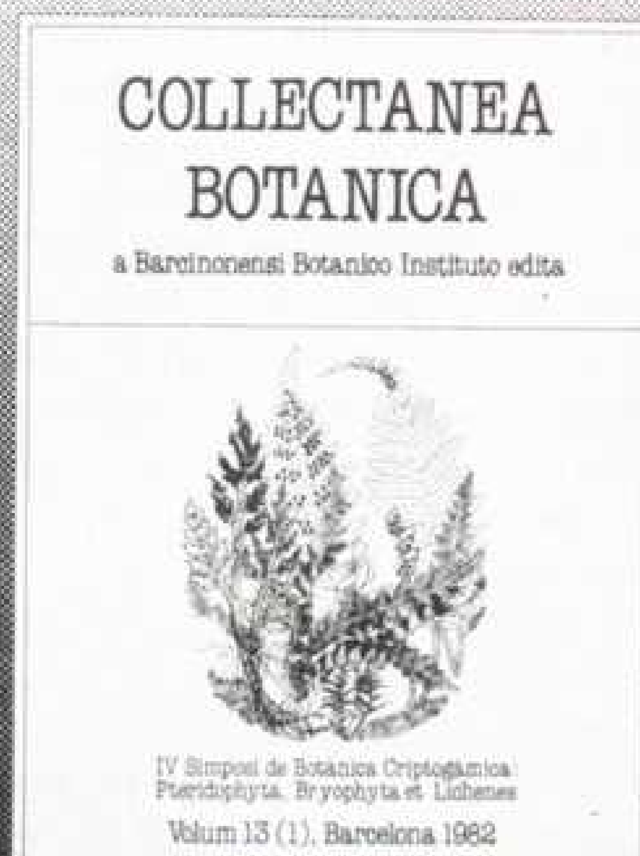
Astronomía física

B. Maitte,
La lumière,
340 pp., Le Seuil.

Bernard Maitte afirma en la introducción de su obra —y con razón— que para comprender realmente lo que es la luz es necesario conocer la evolución histórica de este concepto y entender bien cómo y por qué han nacido y triunfado sucesivamente dferentes teorías al respecto. De hecho, en esta obra de dimensiones relativamente modestas, el autor nos propone una descripción clara, atrayente, bien documentada y concisa de las grandes etapas de la historia del concepto de luz desde la Antigüedad hasta aproximadamente 1920, insistiendo especialmente en las disputas entre la teoría corpuscular y la teoría ondulatoria en los siglos XVII, XVIII y XIX. Su mayor mérito estriba en que no intenta escribir una monografía detallada y erudita de la historia de la óptica sino, muy al contrario, en demostrar cómo esta historia se articula en el marco más general del progreso de los conocimientos en física, por sí mismo inseparable de la evolución del contexto histórico general. Una aproximación global así —que en ocasiones no sortea el escollo del esquematismo simplificador— ofrece el interés de ilustrar, con el ejemplo concreto de la historia del concepto de luz, unos conceptos epistemológicos generales tales como los de teoría física, revolución científica... Sin embargo, lamentamos que esta obra no consagre sino muestras muy especiales de la emergencia de una nueva teoría de la luz: la «electrodinámica cuántica». El lector, una vez cerrado el libro, tendrá de la luz una idea un poco anticuada y, por ejemplo, ignorará todo lo que concierne a las extrañas propiedades ligadas a lo que se ha venido en llamar, de manera bastante enigmática, las «fluctuaciones del vacío».

Un excelente libro de divulgación científica y de historia de las ciencias, pero que no nos lleva hasta el fin del camino.

■ Ángel Aguirre Álvarez, *El astrónomo cellense Francisco M. Zarzoso,* Diputación Provincial de Teruel, Teruel, 1980.
■ *Geo crítica,* cuadernos críticos de geografía humana, 32 pp., Cátedra de geografía humana, Universidad de Barcelona. n.° 36, noviembre, 1981.
■ *Mayéutica,* 350 pp., Publicación de los Agustinos Recoletos, vol. VII, n.° 21, setiembre-diciembre, Navarra, 1981.
■ *Correo cultural,* n.° 8, publicación cultural, 3 de abril, 1982.
■ A. Casinos, *Atlas elemental de los vertebrados,* 24 pp., Ediciones Jover, Barcelona, 1979.
■ *Miscelánea zoológica,* vol. IV, Fasc. 1, 316 pp., Ayuntamiento de Barcelona, Instituto Municipal de Ciencias Naturales, Editada por el Museo de Zoología, Barcelona, 1977.
■ *L'Apiari del Museu de Zoologia,* folleto preparado por el Departamento de Educación del Museo de Barcelona, febrero, 1980.
■ Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía, n.° 0, 63 pp., Sociedad Española de mineralogía, Madrid, junio de 1978.
■ Christopher Evans, *El fabuloso micro procesador,* 294 pp., Editorial Argos Vergara, Barcelona, 1981.
■ *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía,* n.° 2, febrero, Madrid, 1979.
■ *¿Cómo se reproducen los mamíferos?,* guía de trabajo, 26 pp.
■ *Curso de tecnología educativa,* Programa, 71 pp., Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Dpto. Ciencias Experimentales y Diferenciales de Educación, Barcelona.
■ *Le Courrier de l'Unesco,* «Les déshérités», le cas des pays les moins avances, Barcelona, octubre, 1981.
■ *Números,* 112 pp., revista de la Sociedad Canaria «Isaac Newton» de Profesores de Matemáticas, La Laguna, Canarias, España, 1981.
■ Publicaciones del Departamento de Zoología, 96 pp., Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Barcelona, 1981.
■ *Regulation of Insect Development and Behaviour,* International Conference, Technical University of Worctaw, Karpacz, Poland, junio 23-28, 1980.



Ciencia
Tecnología
y Desarrollo

Cien. Tec. Des. | Bogotá Colombia | Vol. 5 No. 2 | pp. 129-254 | Abril Junio 1981 | ISSN 0120-1573

TABLA DE CONTENIDO

■ *L'Anellament cientific dels acells,* «Que s'ha de fer quan es troba un ocell anellat?, Comissió d'ornitologia de la Institució Catalana d'història natural, Barcelona, 1981.
■ *Butlletí d'Infermeria,* n.° 50, 24 pp., Associació d'ex-alumnes de l'escola universitària de Santa Madrona, Barcelona, 1981.
■ *Radioafición,* n.° 1, enciclopedia teórico-práctica, fascículo Semanal de 20 pp., Ediciones Boixareu, Barcelona, 1982.
■ André Giordan, *La enseñanza de las ciencias, 221 pp., Pablo del Río Editor, Siglo XXI de España Editores, Madrid, 1982.*
■ Stephan L. Chorover, *Del Génesis al genocidio,* 294 pp., H. Blume Ediciones, Madrid, 1982.
■ *ANUARIO,* vol. VI, 349 pp., Centro de Edafología Aplicada. CSIC, Instituto de Orientación y Asistencia Técnica del Oeste, Salamanca, España, 1980.
■ *Informática y automática,* n.° 51, 100 pp., revista de publicación trimestral, Órgano de la Asociación Española de Informática y Automática y del Instituto de Electricidad y Automática del CSIC, Madrid, 1982.
■ *Labor del servicio de investigación prehistórica y su museo en el año 1980,* 112 pp., Diputación Provincial de Valencia, Valencia, 1982.
■ *Index de documentació sur les énergies,* clasiques, nucléaires, renouvelables, 87 pp., Electricite de France, Direction de l'Équipment.
■ *División Information et Communication,* Editions Sofedir, Plaiseau, Francia, 1982.

Manifestaciones científicas



Entre los días 27 de septiembre y 1 de octubre pasados se ha celebrado en Jaca el II Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias.

Hacía cuatro años que no se reunía la SEHC en Congreso, ya que el primero tuvo lugar en Madrid en diciembre de 1978, y se ha podido constatar el aumento cuantitativo y cualitativo de los trabajos que sobre Historia de la Ciencia se están realizando en el Estado Español.

Han participado en el Congreso unos 150 especialistas provenientes de la mayor parte de las nacionalidades y regiones y también algunos extranjeros interesados en el estudio de la ciencia española o latinoamericana.

Las 103 comunicaciones anunciadas han tratado temas de historia de casi todas las disciplinas científicas y de la mayor parte de los períodos de la historia de la ciencia moderna y contemporánea en España.

Se han dictado siete conferencias generales a cargo de Cordón (Madrid), González Vicén (La Laguna), Beltrán (México), Glick (Boston), Osácar (Zaragoza), Thuillier (París) y Ortiz (Londres). Y se han celebrado cuatro Mesas Redondas sobre «La Historia de la Ciencia y de la Técnica en el curriculum profesional del científico y del ingeniero», «Situación de la Historia de la Ciencia y de la Técnica en diferentes Universidades e instituciones científicas y culturales del mundo», «Perspectivas institucionales de la Historia de la Ciencia y de la Técnica en España» y «La Historia de la Ciencia y de la Técnica en Aragón» y un coloquio sobre «La ciencia en España en el siglo XIX».

Un programa tan apretado de trabajo ha representado un esfuerzo considerable para una sociedad científica que no cuenta con soporte institucional alguno y en la que muchos de sus miembros tienen todavía que compatibilizar sus trabajos de investigación con otro tipo de tareas que sean remuneradas.

El Congreso ha trabajado monográficamente sobre el estudio de la influencia del pensamiento de Darwin en España, Portugal y Latinoamérica y sobre la historia de la Ciencia y de la Técnica en España entre 1850 y 1936. Cinco de las conferencias generales —las dictadas por Cordón, González Vicén, Glick, Thuillier y Ortiz— han analizado el tema del darwinismo desde cinco ópticas diferentes, todas ellas interesantes.

Respecto al análisis de la ciencia española en el siglo XIX y en el primer tercio del siglo XX se ha constatado la importancia que en diferentes áreas científicas tuvo lo producido en el Estado Español que, en palabras del profesor Ortiz del Imperial College de Londres, fue de punta en Europa.

El II Congreso de la SEHC ha supuesto la consolidación organizativa de un colectivo de investigadores que permite vislumbrar unas posibilidades crecientes de trabajo para desarrollar e institucionalizar la historia de las ciencias y de la tecnología en España.

Por último, la SEHC, con este Congreso, ha demostrado su entidad científica, su capacidad de convocatoria y su vitalidad. A partir de aquí se abre todo un rico panorama de perspectivas de relación con otros colectivos de trabajo en Historia de la Ciencia y la consolidación de unas prometedoras relaciones internacionales. Para ello lo que hace falta es seguir trabajando para conseguir que las próximas reuniones científicas de la SEHC y, en particular, el III Congreso, que se ha propuesto celebrar en Euzkadi, sea mucho mejor que el segundo.

Mariano Hormigón
Vicepresidente de la SEHC.

---

noviembre 1982 — Granada (España)
Curso de Diagnóstico Inmunológico del Parasitismo.
Inst. «López Neyra» de Parasitología. Ventanilla nº 11. Granada. Tel. (958) 20 04 03.

---

noviembre — Granada (España)
Curso de Cultura y Civilización Hispanomusulmana.
Escuela de Estudios Árabes. Casa del Chapiz. Granada-10. Tel. (958) 22 22 90.

---

noviembre — Madrid
L Aniversario de la Fundación de las Escuelas de Estudios Árabes.
Inst. de Estudios Árabes «Miguel Asín». Duque de Medinaceli, 4. Madrid-12. Tel. (91) 429 20 17.

3-5 noviembre — Versalles (Francia)
Segundo congreso internacional sobre tiempo real y procedimientos de control.
INRIA, Serv. des relations ext., Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 Le Chesnay.

22-24 noviembre — Montpellier (Francia)
Coloquio nacional sobre los polímeros especiales.
Coloquio GFP 1982, Lab. de chimie macromoléculaire, USTL, Place E. Bataillon, 34060 Montpellier.

22-27 noviembre — Río Grande (Brasil)
Simposio internacional sobre la utilización de los ecosistemas costeros: producción y contaminación.
Labbish Ning Chao, Fundaçao universidade do Rio Grande, C.P. 474, 96200 Río Grande, RS, Brasil.

4º trimestre 1982 — Toulouse (Francia)
Coloquio Nacional sobre el tema «Mujeres, Feminismo e Investigación»
AFFER-GRIEF, Université de Toulouse le Mirail, 109 bis rue Vauquelin, 31058 Toulouse, Francia.

2-5 noviembre — Cádiz (España)
Simposio Nacional sobre acuicultura de esteros.
Dr. A. M. Areas. Instituto de Investigaciones Pesqueras de Cádiz.
Puerto Pesquero, s/n, Cádiz, España.

3-5 noviembre — Paris (Francia)
Simposio Internacional «Interacciones entre la nutrición, los alimentos y los medicamentos en el hombre.
Sec. gén. de la Fondation français pour la nutrition, 71, av. Victor Hugo, 75116 Paris.

3-5 noviembre — Toulouse (Francia)
Seminario sobre bancos de datos.
Eliane Villaume Thuly, Agence de l'informatique. Tour Fiat-Fedex 16, 92084 Paris La Défense.

4-6 noviembre — Toulouse (Francia)
Coloquio de antropología física y arqueología en la metodología del estudio de las sepulturas.
Henry Duday, 3, rue Anselme Mathieu 34100 Montpellier, Francia.

10 noviembre París (Francia)
Jornada de estudio sobre la medicina nuclear.
Mme. Gouanche, ISF, 19 rue Blanche, 75009 Pris, Francia.

15 noviembre París (Francia)
Jornada de estudio sobre geología e informática.
Société géologique de France, 77 rue Claude Bernard, 75005 París, Francia.

16 noviembre-10 diciembre Trieste (Italia)
Curso de otoño sobre ecología matemática.
T.G. Hallam, Dept. Math., University of Tennessee, Knoxville, TN 37996, EE.UU.

noviembre-abril Barcelona (España)
Curso de Introducción a la Musicología y Etnomusicología.
Inst. de Musicología. Egipciacas, 15. Barcelona-1. Tel. (93) 242 91 23.

noviembre-abril Barcelona (España)
Curso de Paleografía y Formas Musicales del Renacimiento.
Instituto de Musicología. Egipciacas, 15. Barcelona-1. Tel. (93) 242 91 23.

noviembre-marzo Barcelona (España)
Curso de Etnomusicología.
Instituto de Musicología. Egipciacas, 15. Barcelona-1. Tel. (93) 242 91 23.

noviembre-marzo Madrid
Curso de «Sociedad Civil y Mentalidad Militar en la España Contemporánea».
Inst. de Historia «Jerónimo Zurita». Duque de Medinaceli, 4. Madrid-12. Tel. (91) 429 20 17.

noviembre-mayo Madrid
Curso de Introducción al Estudio de la Edad Media Española.
Inst. de Historia «Jerónimo Zurita». Duque de Medinaceli, 4. Madrid-12. Tel. (91) 429 20 17.

1-15 diciembre Madrid
Aplicación de los Ordenadores de la Investigación Histórica.
Inst. de Historia Hispano-Americana «Gonzalo Fernández de Oviedao». Duque de Medinaceli, 4. Madrid-12. Tel. (91) 429 20 17.

8-10 diciembre Orlando (EE.UU.)
21.ª conferencia internacional sobre decisión y control.
Dr. A.H. Lewis, 35-410/LIDS, MIT, Cambridge, MA 02139, EE.UU.

9-10 diciembre París (Francia)
Simposio sobre componentes e instrumentos para los sistemas de mandos distribuidos.
AFCET, 156 boulevard Péreire, 75017 París, Francia.

enero Granada (España)
Problemas Sanitarios de la Cuenca Mediterránea.
Inst. López Neyra de Parasitología. Ventanilla, 11. Granada. Tel. (958) 20 04 03.

enero-marzo Madrid
Curso de Cinética de Adsorción.
Inst. de Catálisis y Petroleoquímica. Serrano, 119. Madrid-6. Tel. (91) 261 94 00.

enero-junio Madrid
Curso de Hidrogeología «Noel Llopis».
Inst. Geología Económica y otros. Secretaría: Depto. Estratigrafía. Facultad C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid. Tel. (91) 243 67 01.

febrero 1983 Barcelona (España)
XIV Jornadas Técnicas del Comité Español de la Detergencia.
Inst. de Tecnología Química y Textil y Asociación Investigación de Detergencia. Jorge Girona Salgado, s/n. Barcelona-34. Tel. (93) 204 06 00.

febrero-marzo Madrid
Curso de reactores Catalíticos.
Inst. de Catálisis y Petroleoquímica. Serrano, 119. Madrid-6. Tel. (91) 261 94 00.

15 febrero-15 marzo Madrid
Curso de Introducción a la Etnología.
Inst. de Filología Hispánica «Miguel de Cervantes». Duque de Medinaceli, 4. Madrid-12. Tel. (91) 429 20 17.

febrero-marzo Madrid
Curso sobre el Problema Agrario Castellano y los Arbitristas.
Inst. de Historia «Jerónimo Zurita». Duque de Medinaceli, 4. Madrid-12. Tel. (91) 429 20 17.

febrero-marzo 1983 Madrid
Durabilidad (Resistencia Química) del Hormigón.
Inst. de la Construcción y del Cemento «Eduardo Torroja». Apartado 19002. Madrid-33.

marzo-agosto 1983 Madrid
Curso Internacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal.
Inst. Edafología y Biología Vegetal. Serrano, 115 dpdo. Madrid-6. Tel. (91) 262 50 20.

abril Madrid
Curso Práctico de Ingeniería Genética.
Varios del CSIC coordinados por: Instituto de Biología Celular. Velázquez, 1444. Madrid-6. Tel. (91) 261 18 00.

abril 1983 Madrid
International Training Course on «The Cell Cycle».
Inst. de Biología Celular. Velázquez, 144. Madrid-6. Tel. (91) 261 18 00.

abril-mayo Valencia (España)
Bioquímica de la fabricación del pan con particular atención a la fermentación panaria.
Inst. de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Jaime Roig, 11. Valencia-10. Tel. (96) 369 08 00.

mayo 1983 Granada (España)
Curso de Coprología Parasitaria.
Inst. «López Neyra» de Parasitología. Ventanilla, 11. Granada. Tel. (958) 20 04 00.

20-26 junio 1983 Valencia (España)
Curso intensivo de Análisis Microbiológico de Alimentos y Control de los Procesos de Fabricación.
Inst. Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Jaime Roig, 11. Valencia-10. Tel. (96) 369 08 00.

junio 1983 Barcelona (España)
Seminario sobre Robótica.
Inst. de Cibernética. Diagonal, 647, 2.ª planta. Barcelona-28. Tel. (93) 249 28 42.

junio 1983 Barcelona (España)
Estudio de los Versos para Órgano de los siglos XVII y XVIII.
Instituto de Musicología. Egipciacas, 15. Barcelona-1. Tel. (93) 242 91 23.

julio 1983 Barcelona (España)
Terminología de las Formas Musicales de la Música para Tecla de los siglos XVII-XVIII.
Instituto de Musicología. Egipciacas, 15. Barcelona-1. Tel. (93) 242 91 23.

agosto 1983 Barcelona (España)
Aspectos Básicos del Análisis Musical.
Instituto de Musicología. Egipciacas, 15. Barcelona-1. Tel. (93) 242 91 23.

setiembre 1983 Madrid
Curso de Procesos Tecnológicos para la realización de Células y Paneles Fotovoltáicos.
Inst. de Electrónica de Comunicaciones. Serrano, 144. Madrid, 6. Tel. (91) 261 48 08.

octubre 1983-abril 1984 Sevilla (España)
Curso de Alta Especialización en Grasas.
Inst. de la Grasa y sus Derivados. Avda. Padre G.ª Tejero, 4. Sevilla. Tel. (954) 61 15 50.

Madrid
Curso Superior de Soldadura.
Centro Superior de Investigaciones Metalúrgicas. Avda. Gregorio del Amo, s/n. Madrid-3. Tel. (91) 253 89 00.

Madrid
Curso Práctico de Análisis de Aguas Medida e Interpretación de Índices de Contaminación.
Centro de Investigaciones del Agua ANQUE (Secretaría). Lagasca, 87. Madrid. Tel. (91) 276 74 43.

Madrid
Curso de Volcanismo en las Islas Canarias.
Inst. de Geología (Estación Volcanológica de Canarias). José Gutiérrez Abascal, 2. Madrid-6. Tel. (91) 411 06 10.

Lima (Perú)
Curso Iberoamericano de Biología Celular (proliferación en Plantas).
Universidad Mayor de San Marcos. Lima. Perú. Inst. de Biología Celular. Velázquez, 144. Madrid-6. Tel. (91) 261 94 00.

Madrid.
Acidez superficial.
Inst. de Catálisis y Petroleoquímica. Serrano, 119. Madrid-6. Tel. (91) 261 94 00.

Madrid
Problemas Institucionales al Ingreso de España en la Comunidad Económica Europea.
Instituto de Ciencias Jurídicas. Duque de Medinaceli, 4. Madrid-12. Tel (91) 429 20 17.

MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE, versión en castellano
Nº 19

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359, 6.º - Barcelona-9 (España)

Señores: Deseo suscribirme a la revista **MUNDO CIENTÍFICO,** de periodicidad mensual, al precio de oferta de **3.000 pts.** (3.300 pts. precio-número), por el período de un año (11 números) y renovaciones hasta nuevo aviso, cuyo pago efectuaré mediante:

☐ Domiciliación bancariá

☐ Envío talón bancario por 3.000 pts.

A partir del n.º .....

Nombre ____________________

Apellidos ____________________

Profesión ____________________

Domicilio ____________________

Población ____________________ Dist. Postal ______

Provincia ____________________ Tel. ______

País ____________________ Fecha ______

Firma,

Para el extranjero, enviar adjunto un cheque en dólares:

	Ordinario	Avión
Europa	45 $	50 $
América	50 $	60 $

(Se recomienda para América el envío aéreo).

DOMICILIACIÓN BANCARIA

Lugar y fecha: ____________________

____
(Banco o Caja de Ahorros)

____________________ D.P. ______
(Domicilio completo de la entidad bancaria)

____
(N.º de la agencia) (N.º c/c o libreta de ahorro)

Muy Sres. míos:
Ruego a Vds. que, hasta nuevo aviso, abonen a EDITORIAL FONTALBA, S.A., Valencia, 359, 6.º, 1.ª - Barcelona-9 (España), con cargo a mi c/c o libreta de ahorros mencionada, los recibos correspondientes a la suscripción o renovación a la revista **MUNDO CIENTÍFICO.**
Atentamente le saluda:

Fecha ______ Firma,

Titular ____________________

Domicilio ____________________

Población ____________________

NÚMEROS ATRASADOS

Sírvanse enviarme los siguientes números: ....
(agotados los números 2 y 5)

forma de pago: ☐ talón adjunto (300 ptas. ejemplar)
☐ contrarrembolso (300 ptas. ejemplar más 50 ptas. por gastos de envío expedición)

Nombre: ....

Domicilio: ....

Población .... D.P. ....

Provincia ....

XI-1982

MUNDO CIENTIFICO
DE EDITORIAL FONTALBA

DIRECTOR
José Gili Casals

DIRECTOR CIENTÍFICO
Jaume Josa i Llorca

REDACCIÓN
Carlos Sánchez-Rodrigo
Pilar Merino
María Torres
Ofelia Favaron

PRODUCCIÓN
Joan Oró

PROMOCIÓN EXTERIOR
Adelita Doménech

Han colaborado en el presente número

ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:

La mejora genética del café: *Jaume Serrasolsas;* Las enfermedades de nuestros antepasados: *Carlos Sánchez-Rodrigo;* Pronto, la vacuna contra la lepra: *B. Pardo Alzina;* La trufa un afrodisiaco; Los canales mayas; El temblor de las ovejas: *Juan Godo Costa;* ¿Es eterna la expansión del universo?; La fusión en dos dimensiones; Los mantos subterráneos: ahorro de energía en perspectiva: *Teresa Mestre;* La «revolución científica» del siglo XII: *Joan Serratosa;* La fisión nuclear: *Joan Pericay;* Nuestra Galaxia: *Carlota Auguet.*

CRÍTICA DE LIBROS:

Introducción a la ecología de poblaciones: *Antoni Escarré;* La psicologia a Catalunya: *Marta Gili.*

EDITA
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359 - 6.º
Barcelona-9 (España)
Tels. (93) 258 55 07/08
Télex 97835 FON E

Distribución para España: **Marco Ibérica, S.A.** / Exclusiva de Publicidad: **Promedia, S.A.** Av. Príncipe de Asturias, 8 - Entlo., 1.ª - Barcelona-12 - Tels. (93) 218 42 55 - 218 41 71 - **Exmecosa:** Claudio Coello, 20 - Madrid-1 - Tels. (91) 226 89 23 - 276 81 12 / Fotocomposición: **Grafitex** (Barcelona) / Impresión: **Cayfosa** - Sta. Perpetua de Mogoda (Barcelona) España / ISSN 0211-3058 / Depósito Legal: B. 10.896-1981 /